



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EFFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA
DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES
DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS
EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ

2025



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
EFFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA
DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES
DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS
EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025

TESIS PRESENTADA POR:


Bach. PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:


Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR

PRIMER MIEMBRO

:


Dr. LEONEL SUASACA PELINCO

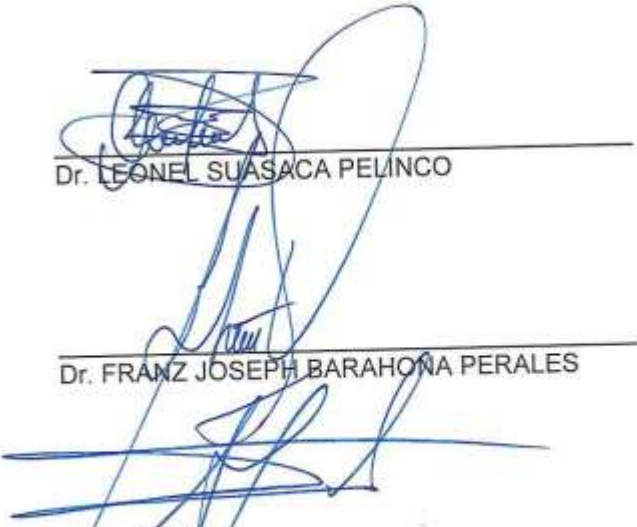
SEGUNDO MIEMBRO

:


Dr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

ASESOR DE TESIS

:


Dr. ARNALDO YANA TORRES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

:

TECNOLOGÍA DE MATERIALES – P17



**UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"**

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1087-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 16 de septiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025 - CU-8258 presentado por el (la) Bachiller: **PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA** estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **EFFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO. - APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
- * **1er Miembro** : Dr. LEONEL SUASACA PELINCO
- * **2do Miembro** : Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

ARTICULO SEGUNDO. - RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Dr. ARNALDO YANA TORRES.**

ARTICULO TERCERO. - APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **EFFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil.** de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : viernes 26 de septiembre del 2025
- * **HORA** : 08:00 horas
- * **LUGAR** : Aula 406 - FICP

ARTÍCULO CUARTO. - DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR Y. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
C.P. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc:
Archivo



RESOLUCIÓN DECANAL N° 1079-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 15 de septiembre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 7726, presentado por el señor (a) **PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA** solicitando **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN**, el Proveedor del Director de la Unidad de Investigación de la FICP, y la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 170-2025-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 441-2025-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para optar el título profesional de Ingeniero Civil.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA** ha presentado cambio de asesor de tesis del tema investigación Titulada: **EFFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la FICP a tomado conocimiento que el asesor **Dr. MILTHON QUISPE HUANCA** no tiene vínculo laboral en la facultad de ingenierías y ciencias puras y existiendo la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 170-2025-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 441-2025-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**.

Estando, a la solicitud del ejecutante y en cumplimiento al reglamento al Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención Grados Académicos y Títulos Profesionales; el director de la Unidad de Investigación **Dr. Fritz Willy Mamani Apaza** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió el proveído favorable del cambio de asesor de investigación del tema titulada: **EFFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACION**, designado al señor (a): **PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **EFFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE LA MATERIALES**, se le asigna como:

ASESOR: Dr. ARNALDO YANA TORRES

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la) docente **Dr. ARNALDO YANA TORRES**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

cc.
Archivo 2025
Interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VILLAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP. 32730



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 451-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 11 de junio del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU - 5325 por el señor (a): **PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 280- 2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACION (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 029 - 2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **EFFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Cesar Guillermo Camargo Najar** de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 029 - 2025 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EFFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EFFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Dr. MILTHON QUISPE HUANCA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Mtro. WALTER J. LIZARRAGA ARMAS
DECANO (e)
CIP. 70808



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. PRISCILLA MUNGAI ROJAS
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo
interesado (s)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 170-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 28 de marzo del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-CU- 002967, presentado el señor (a) **PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA** solicitando APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN el PROVEIDO - N° 108-2025-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN formato N° 007 -2025 del integrante del comité de investigación EPIC de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA** ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **EFFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación Dr. Arnaldo Yana Torres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 007 -2025- aprobando la propuesta de investigación titulado: **EFFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, y en merito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN, presentado por el señor (a): **PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulado: **EFFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**,

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente Dr. **MILTHEON QUISPE HUANCA**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

M.º. **WALTER LIZARRAGA ARMAZA**
DECANO (e)
CIP. 70808



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. **Fritz Willy Mamani Apaza**
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2025
Interesado (a)



25% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de fuentes excluidas

Fuentes principales

- 6% Fuentes de Internet
- 2% Publicaciones
- 25% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.




Metadatos Complementarios



Título de la tesis	
EFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	70762374
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0001-9805-8926
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	41414676
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6740-5024
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	CESAR GUILLERMO CAMARGO NAJAR
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02441152
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	LEONEL SUASACA PELINCO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	40865558
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento	DNI



Número de documento de identidad	02442876
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de Materiales - P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: San Román Latitud: S 15° 29' 27" Longitud: O 70° 07' 59"</p>  <p>https://maps.app.goo.gl/1pUgbNt3PM8gnTfe6</p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Marzo 2025 - Setiembre 2025
URL de disciplinas OCDE	<p>Ingeniería Civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.00 Ingeniería de Materiales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.05.00</p>
- Librería	


 INSTITUCIÓN PERUANA VICEPRESIDENCIA DEL GOBIERNO
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y SISTEMAS PUNO
 Dr. Frías Willy Mamani Apaza
 DIRECTOR
 UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA, identificado con DNI Nro. 70762374, en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional
- Programa de Segunda Especialidad,
- Programa de Maestría o Doctorado

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación, Trabajo Académico denominada:

EFFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN

VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL

PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025

Asesorado por: Dr. ARNALDO YANA TORRES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 21 de Octubre del 2025

Firma del Asesor
(obligatoria)

Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios por siempre guiar mi camino y a mis padres quienes me apoyaron en todo el proceso de mi formación profesional, este logro también es de ustedes.



AGRADECIMIENTO

Primeramente, a nuestro creador, mis padres y de igual manera a los docentes de la universidad que siempre tuvieron paciencia para poder enseñar.



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática.....	15
1.2 Planteamiento del problema.....	17
1.2.1 Problema general.....	17
1.2.2 Problemas específicos.....	17
1.3 Objetivos de la investigación.....	17
1.3.1 Objetivo general.....	17
1.3.2 Objetivos específicos.....	18
1.4 Justificación de la investigación.....	18
1.4.1 Justificación técnica.....	18
1.4.2 Justificación económica.....	18
1.4.3 Justificación social.....	19
1.4.4 Justificación ambiental.....	19
1.5 Hipótesis de la investigación.....	19
1.5.1 Hipótesis general.....	19
1.5.2 Hipótesis específicas.....	20
1.6 Variables e indicadores.....	20
1.6.1 Variable independiente.....	20



1.6.2	Variable dependiente.....	20
1.7	Operacionalización de variables.....	21

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Antecedentes de la investigación	22
2.1.1	Antecedentes internacionales.....	22
2.1.2	Antecedente nacional	24
2.1.3	Antecedente de ámbito local.....	26
2.2	Bases teóricas	26
2.2.1	Efecto del reemplazo parcial del cemento	26
2.2.2	Fundamentos del Concreto y el Cemento.....	28
2.2.2.1	<i>Composición química y física del cemento Portland</i>	<i>30</i>
2.2.2.2	<i>Hidratación del cemento y formación de productos cementantes.....</i>	<i>31</i>
2.2.2.3	<i>Propiedades del concreto convencional.....</i>	<i>33</i>
2.2.3	Puzolanas de origen volcánico	36
2.2.3.1	<i>Definición y clasificación de las puzolanas.....</i>	<i>39</i>
2.2.3.2	<i>Composición química y mineralógica de las puzolanas volcánicas.....</i>	<i>42</i>
2.2.3.3	<i>Reacción puzolánica y su impacto en el concreto.....</i>	<i>45</i>
2.2.3.4	<i>Propiedades de las puzolanas volcánicas utilizadas en la construcción. 47</i>	
2.2.4	Efecto del Reemplazo Parcial de Cemento por Puzolanas Volcánicas en el Concreto.....	50
2.2.4.1	<i>Influencia en la resistencia a la compresión del concreto.....</i>	<i>53</i>
2.2.4.2	<i>Impacto en la resistencia a la flexión y módulo de elasticidad.....</i>	<i>56</i>
2.2.4.3	<i>Efecto en la trabajabilidad y consistencia de la mezcla.....</i>	<i>59</i>
2.2.4.4	<i>Variación en la permeabilidad y durabilidad del concreto.....</i>	<i>62</i>
2.2.4.5	<i>Factores que influyen en el desempeño del concreto con puzolanas.....</i>	<i>65</i>
2.3	Marco conceptual.....	69

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	Enfoque de investigación	72
-----	--------------------------------	----



3.2	Tipo de investigación	72
3.3	Nivel de investigación	73
3.4	Diseño de la investigación.....	73
3.5	Método de la investigación.....	74
3.6	Población y muestra de la investigación.....	75
3.6.1	Población.....	75
3.6.2	Muestra	76
3.7	Técnicas e instrumentos	77
3.7.1	Técnicas	77
3.7.2	Instrumentos de recolección de datos investigación	80
3.8	Validación y confiabilidad del instrumento	83
3.8.1	Validación de los instrumentos	83
3.8.2	Confiabilidad de instrumentos.....	85
3.9	Plan de recolección y procesamiento de datos	86
3.9.1	Desarrollo de plan de investigación	86
3.9.2	Etapa de campo	90
3.9.3	Etapa de laboratorio	92
3.9.4	Etapa de gabinete	95

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Resultados de las muestras evaluadas	98
4.1.1	Características del concreto posterior al ensayo de asentamiento.....	105
4.1.2	Resistencia del concreto + puzolana	110
4.1.3	Capacidades a flexión del concreto, datos relativos	133
4.2	Discusión de Resultados.....	155
CONCLUSIONES		159
RECOMENDACIONES.....		161
REFERENCIAS		163



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Operacionalización de variables</i>	21
Tabla 2 <i>Cantidad de unidades analizadas</i>	76
Tabla 3 <i>Datos logrados de los suelos del área de estudio</i>	99
Tabla 4 <i>Valores con respecto a los agregados</i>	99
Tabla 5 <i>Datos para el diseño 210kg/cm²</i>	101
Tabla 6 <i>Cantidades de material utilizado</i>	102
Tabla 7 <i>Cantidad de material utilizado en las mezclas</i>	104
Tabla 8 <i>Análisis de los asentamientos logrados (estándar)</i>	105
Tabla 9 <i>Análisis de los asentamientos logrados (puzolana volcánica 8%)</i>	106
Tabla 10 <i>Análisis de los asentamientos logrados (puzolana volcánica 16%)</i>	107
Tabla 11 <i>Análisis de los asentamientos logrados (puzolana volcánica 24%)</i>	108
Tabla 12 <i>Conjunto de resultados promedio obtenidos al incorporar puzolana</i>	109
Tabla 13 <i>Recopilación de resistencia a compresión del concreto base</i>	111
Tabla 14 <i>Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 8%</i>	113
Tabla 15 <i>Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 16%</i>	114
Tabla 16 <i>Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 24%</i>	115
Tabla 17 <i>Recopilación de resistencia a compresión del concreto base</i>	117
Tabla 18 <i>Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 8%</i>	118
Tabla 19 <i>Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 16%</i>	119
Tabla 20 <i>Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 24%</i>	121
Tabla 21 <i>Recopilación de resistencia a compresión del concreto base</i>	122
Tabla 22 <i>Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 8%</i>	123
Tabla 23 <i>Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 16%</i>	125
Tabla 24 <i>Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 24%</i>	126
Tabla 25 <i>Comparación de resistencias promedio a los 7 días de curado</i>	127
Tabla 26 <i>Comparación de resistencias promedio a los 14 días de curado</i>	129



Tabla 27 <i>Comparación de resistencias promedio a los 28 días de curado</i>	130
Tabla 28 <i>Resumen de resistencias a compresión promedio a diferentes edades de curado</i>	131
Tabla 29 <i>Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base</i>	133
Tabla 30 <i>Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 8%</i> 135	
Tabla 31 <i>Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 16%</i>	136
Tabla 32 <i>Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 24%</i>	137
Tabla 33 <i>Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base</i>	139
Tabla 34 <i>Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 8%</i> 140	
Tabla 35 <i>Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 16%</i>	141
Tabla 36 <i>Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 24%</i>	143
Tabla 37 <i>Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base</i>	144
Tabla 38 <i>Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 8%</i> 145	
Tabla 39 <i>Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 16%</i>	147
Tabla 40 <i>Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 24%</i>	148
Tabla 41 <i>Comparación de resistencias promedio a los 7 días de curado</i>	149
Tabla 42 <i>Comparación de resistencias promedio a los 14 días de curado</i>	151
Tabla 43 <i>Comparación de resistencias promedio a los 28 días de curado</i>	152
Tabla 44 <i>Resumen de resistencias a flexión promedio a diferentes edades de curado</i>	153



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Lugar de ubicación del estudio.....	75
Figura 2 Ensayo resistencia a la compresión	78
Figura 3 Curado de muestras.....	79
Figura 4 Elaborando las muestras.....	82
Figura 5 Puzolana volcánica muestra en laboratorio	88
Figura 6 Puzolana volcánica	89
Figura 7 Muestras recabadas para granulometría	90
Figura 8 Secado de muestras	93
Figura 9 Curvas de valores granulométricos (grava)	100
Figura 10 Curvas de valores granulométricos (fino)	101
Figura 11 Proporción de los componentes del concreto.....	103
Figura 12 Descripción grafica de los valores logrados (SLUMP)	105
Figura 13 Descripción grafica de los valores logrados (SLUMP + 8% de puzolana).....	107
Figura 14 Descripción grafica de los valores logrados (SLUMP + 16% de puzolana)...	108
Figura 15 Descripción grafica de los valores logrados (SLUMP + 24% de puzolana)...	109
Figura 16 Grafica de valores promedio observados	110
Figura 17 Datos recabados a partir de una muestra estándar.....	112
Figura 18 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 8%	113
Figura 19 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 16%	115
Figura 20 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 24%	116
Figura 21 Datos recabados a partir de una muestra estándar.....	117
Figura 22 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 8%	119
Figura 23 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 16%	120
Figura 24 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 24%	121
Figura 25 Datos recabados a partir de una muestra estándar.....	123
Figura 26 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 8%	124



Figura 27 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 16% 125

Figura 28 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 24% 127

Figura 29 Evolución de los testigos al 7mo día 128

Figura 30 Evolución de los testigos al 14vo día..... 129

Figura 31 Evolución de los testigos al 28vo día..... 130

Figura 32 Proceso de evolución de los testigos con variada dosificación 132

Figura 33 Datos recabados a partir de una muestra estándar (flexión) 134

Figura 34 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 8% (flexión) 135

Figura 35 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 16% (flexión)
..... 137

Figura 36 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 24% (flexión)
..... 138

Figura 37 Datos recabados a partir de una muestra estándar (flexión) 139

Figura 38 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 8% (flexión) 141

Figura 39 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 16% (flexión)
..... 142

Figura 40 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 24% (flexión)
..... 143

Figura 41 Datos recabados a partir de una muestra estándar (flexión) 145

Figura 42 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 8% (flexión) 146

Figura 43 Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 16% (flexión)
..... 147

Figura 44 Datos recabados a partir de muestra estándar + puzolana 24% (flexión)..... 149

Figura 45 Evolución de los testigos al 7mo día 150

Figura 46 Evolución de los testigos al 14vo día..... 151

Figura 47 Evolución de los testigos al 28vo día..... 153

Figura 48 Proceso de evolución de los testigos con variada dosificación 154



RESUMEN

El estudio actual titulado "Efecto del reemplazo de parcial de cemento por puzolana de origen volcánico sobre las propiedades del concreto convencional producidos en la provincia de San Román 2025" tuvo como objetivo principal evaluar el impacto de la incorporación de puzolana volcánica en proporciones variables en las propiedades del concreto, particularmente la trabajabilidad, la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión. Este estudio práctico utilizó una técnica cuantitativa y un diseño experimental para construir mezclas de concreto con cementos parcialmente sustituidos por puzolana volcánica en proporciones del 8%, 16% y 24%. Los hallazgos demostraron que la trabajabilidad del concreto no se vio sustancialmente influenciada hasta un reemplazo del 16%. En términos de resistencia a la compresión, el concreto que incorpora un 8% y un 16% de puzolana volcánica mostró una mejora en la resistencia a los 28 días en comparación con el concreto estándar. No obstante, el 24% de Puzolana mostró características desfavorables, indicando una resistencia disminuida. Las pruebas de flexión demostraron resultados comparables, con un 16% de Puzolana mostrando la mejora más significativa en la resistencia a la flexión, mientras que porcentajes mayores de Puzolana no proporcionaron beneficios adicionales. Los hallazgos indican que sustituir el cemento por puzolana volcánica hasta un 16% mejora las propiedades mecánicas del concreto, ofreciendo una opción sostenible que mantiene la integridad estructural del material.

Palabras Clave: Puzolana volcánica, concreto convencional, propiedades del concreto.



ABSTRACT

The current study titled "Effect of partial cement replacement with a puzolana of volcanic origin on the properties of conventional concrete produced in the province of San Román 2025" primarily aimed to assess the impact of incorporating volcanic puzolana in varying proportions on the properties of concrete, particularly workability, compressive strength, and flexural strength. This practical study utilized a quantitative technique and experimental design to construct concrete mixtures with cements partially substituted by volcanic puzolana in proportions of 8%, 16%, and 24%. The findings demonstrated that the workability of the concrete was not substantially influenced up to a 16% replacement. In terms of compression resistance, concrete incorporating 8% and 16% volcanic puzolana exhibited an enhancement in 28-day strength relative to standard concrete. Nonetheless, 24% of Puzolana exhibited unfavorable characteristics, indicating diminished resistance. Flexion tests demonstrated comparable results, with 16% Puzolana exhibiting the most significant enhancement in flexion resistance, whilst greater percentages of Puzolana provided no further benefits. The findings indicate that substituting cement with volcanic puzolana up to 16% enhances the mechanical properties of concrete, offering a sustainable option that maintains the structural integrity of the material.

Keywords: Volcanic Puzo, conventional concrete, properties of concrete.



INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción debido a su resistencia, durabilidad y versatilidad, lo que lo convierte en la base de una amplia variedad de estructuras. Sin embargo, la producción de cemento, un componente esencial del concreto, tiene un impacto ambiental considerable, principalmente debido a las altas emisiones de dióxido de carbono (CO_2) generadas durante su fabricación. Esta problemática ha impulsado la búsqueda de alternativas sostenibles que permitan reducir el uso de cemento sin comprometer las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto. En este contexto, las puzolanas de origen volcánico han ganado atención como materiales suplementarios que pueden sustituir parcialmente al cemento en las mezclas de concreto, contribuyendo así a mitigar los efectos negativos sobre el medio ambiente.

Aunque la sustitución parcial del cemento con puzolana volcánica puede ofrecer ventajas, es esencial evaluar sus efectos sobre las propiedades fundamentales del concreto, tales como la resistencia a la compresión, la trabajabilidad y la durabilidad. Factores como la cantidad de reemplazo, la granulometría de la puzolana y su reactividad con el cemento son determinantes clave que afectan el rendimiento del concreto modificado. Por lo tanto, la investigación tiene como objetivo principal evaluar el impacto del reemplazo parcial de cemento con puzolana volcánica en las propiedades mecánicas y de trabajabilidad del concreto convencional producido en la provincia de San Román en el año 2025.

Dentro de este objetivo general, se establecen tres objetivos específicos: primero, analizar la influencia de la sustitución parcial del cemento por puzolana volcánica en la trabajabilidad del concreto convencional con una resistencia nominal de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de San Román en 2025; segundo, determinar el impacto de la adición de puzolana volcánica en la resistencia a la compresión del concreto convencional con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$; y tercero, evaluar el efecto de la incorporación de puzolana volcánica en la



resistencia a la flexión del concreto convencional con $f'c=210$ kg/cm² en la provincia de San Román.

La metodología empleada en este estudio será de diseño experimental, utilizando el método científico para establecer relaciones causales entre la incorporación de puzolana volcánica y las propiedades del concreto. La investigación se llevará a cabo a un nivel explicativo, buscando entender los efectos y mecanismos detrás de la modificación de las propiedades del concreto. Además, el tipo de investigación será aplicada, ya que los resultados estarán orientados a la mejora de materiales de construcción sostenibles, aprovechando recursos locales y reduciendo el impacto ambiental de la industria del cemento. Finalmente, el enfoque será cuantitativo, con el objetivo de obtener datos numéricos que permitan una evaluación precisa de las propiedades mecánicas y de trabajabilidad del concreto.

Capítulo I: Introducción describe el problema, la importancia del estudio y los objetivos que guían la investigación. La justificación para el reemplazo parcial de cemento por puzolana volcánica está respaldada por su potencial para mejorar la sostenibilidad y el rendimiento del concreto. Se delinearán también las hipótesis del estudio y los parámetros de investigación.

Capítulo II: Marco Teórico proporciona el contexto científico necesario para comprender los principios fundamentales del cemento y las puzolanas volcánicas, su reactividad química y sus efectos en el concreto. Además, se revisan estudios previos y regulaciones que fundamentan las conclusiones del estudio.

Capítulo III: Este estudio empleó un diseño experimental con un enfoque explicativo y aplicado para evaluar el efecto del reemplazo parcial de cemento por puzolana volcánica en el concreto. Se realizaron pruebas de trabajabilidad, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y durabilidad, utilizando normas como ASTM C143, ASTM C39 y ASTM C78. Las muestras se curaron durante 28 días, y los resultados fueron verificados a través de análisis estadísticos para evaluar las variaciones en las propiedades del concreto.



Capítulo IV: Resultados y Discusión presenta y analiza los resultados obtenidos en los ensayos, evaluando el impacto de la puzolana en las propiedades del concreto. Los datos se comparan con investigaciones previas y regulaciones, y se proponen recomendaciones para futuras investigaciones y aplicaciones en la construcción.



CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Análisis de la situación problemática

La industria del cemento es responsable de más del 8% de las emisiones globales de dióxido de carbono (CO_2), lo que lo convierte en un importante contribuyente a la contaminación ambiental en la construcción. Múltiples estudios demuestran que el reemplazo parcial del cemento con materiales puzolánicos puede reducir significativamente la huella de carbono del concreto al tiempo que preserva su resistencia y durabilidad. Países como China, Estados Unidos e India, caracterizados por una demanda significativa de infraestructura, han implementado soluciones de reemplazo de cemento utilizando puzolanas naturales y artificiales para mitigar el impacto ambiental (Castro, 2020).

En el contexto nacional, Perú tiene desafíos similares derivados del crecimiento de la industria de la construcción y la dependencia del cemento de Portland. El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) indica una tendencia creciente en la producción de cemento en el país, lo que provocó preocupaciones sobre las emisiones de CO_2 y el consumo significativo de los recursos naturales. La investigación en el país demuestra que la incorporación de Puzolanas volcánicas mejora la resistencia a largo plazo y la durabilidad del concreto, al tiempo que reduce los costos de producción



simultáneos. Sin embargo, su implementación está limitada por la falta de legislación específica y una comprensión insuficiente de sus beneficios dentro del sector de la construcción (Ramirez, 2018).

La provincia de San Román, caracterizada por un notable dinamismo en el desarrollo de viviendas e infraestructura, enfrenta una creciente demanda de cemento y materiales de construcción convencionales para satisfacer las necesidades de expansión urbana. Sin embargo, a pesar de la identificación de depósitos de puzolana volcánica en la región, que podrían ser una alternativa más sostenible en la producción de concreto, las empresas constructoras no han incorporado este material en sus procesos productivos. Esta reticencia se debe principalmente a la falta de estudios empíricos y evidencia científica que demuestren los beneficios y la viabilidad de su uso en comparación con el cemento convencional, lo que genera incertidumbre sobre su desempeño en la durabilidad y resistencia del concreto. Además, el consumo de cemento en la región ha experimentado fluctuaciones notables, especialmente después de la pandemia. Durante los primeros años de la crisis sanitaria, la actividad económica se redujo drásticamente, lo que llevó a una caída en la demanda de cemento. No obstante, a medida que la economía se recuperaba, especialmente en el sector de la construcción, el consumo de cemento volvió a incrementarse, alcanzando niveles más altos que los previos a la pandemia debido a la reactivación de proyectos inmobiliarios y obras públicas. Este contexto resalta la necesidad urgente de realizar estudios que investiguen los efectos del reemplazo parcial del cemento por puzolana volcánica, con el objetivo de optimizar los recursos locales, reducir el impacto ambiental asociado al uso intensivo de cemento y promover el uso de materiales más sostenibles que contribuyan al desarrollo a largo plazo de la región (Quispe, 2019).

Esta investigación busca mejorar la comprensión del impacto de las puzolanas volcánicas en la producción de concreto en la región de San Román. Los estudios experimentales evaluarán sus efectos sobre la resistencia, la durabilidad y la trabajabilidad

del concreto, proporcionando ideas relevantes para la industria de la construcción y promoviendo el uso de materiales alternativos en el área.

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el efecto del reemplazo parcial de cemento por puzolana de origen volcánico en las propiedades mecánicas y de trabajabilidad del concreto convencional con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de San Román en el año 2025?

1.2.2 Problemas específicos

1. ¿Cuál es la influencia de la sustitución parcial del cemento por puzolana volcánica en la trabajabilidad del concreto convencional con una resistencia nominal de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de San Román?
2. ¿Cuál es el impacto de la adición de puzolana volcánica en la resistencia a la compresión del concreto convencional con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de San Román?
3. ¿Cuál es el efecto de la incorporación de puzolana volcánica a la resistencia a la flexión del concreto convencional con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de San Román?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del reemplazo parcial de cemento por puzolana de origen volcánico en las propiedades mecánicas y de trabajabilidad del concreto convencional con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de San Román en el año 2025.

1.3.2 *Objetivos específicos*

1. Analizar la influencia de la sustitución parcial del cemento por puzolana volcánica en la trabajabilidad del concreto convencional con una resistencia nominal de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de San Román en 2025.
2. Determinar el impacto de la adición de puzolana volcánica en la resistencia a la compresión del concreto convencional con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de San Román.
3. Evaluar el efecto de la incorporación de puzolana volcánica a la resistencia a la flexión del concreto convencional con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de San Román.

1.4 **Justificación de la investigación**

1.4.1 *Justificación técnica*

El uso de puzolanas de origen volcánico como reemplazo parcial para el cemento ha mostrado mejoras en las propiedades de concreto, como la resistencia a largo plazo, la durabilidad y la reducción en la grieta térmica (Mehta y Monteiro, 2021). En la provincia de San Román, se ha realizado una investigación enfocada sobre los efectos de este material en concreto típico con una resistencia a la compresión de $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$. Esta investigación generará datos científicos sobre el rendimiento, identificará parámetros óptimos para la aplicación en el sector de la construcción y facilitará el desarrollo de materiales innovadores con características mejoradas.

1.4.2 *Justificación económica*

La producción de cemento es costosa debido al alto consumo de energía y al costo de las materias primas. La incorporación de puzolana volcánica puede reducir el consumo de cemento, disminuyendo así los gastos de producción de concreto al tiempo que preserva la integridad estructural (Scrivener, John y Gartner, 2018). Además, como un activo regional en la provincia de San Román, su uso podría resultar en costos reducidos



de transporte y logística, facilitando una producción concreta más accesible para proyectos de desarrollo locales.

1.4.3 Justificación social

El acceso a materiales de construcción eficientes y económicos es crucial para el progreso de la infraestructura sostenible en las comunidades en desarrollo. El uso de concreto aumentado con puzolanas volcánicas puede mejorar la calidad y disminuir los costos en la vivienda y las instalaciones públicas, lo que finalmente beneficia las áreas limitadas por recursos. Del mismo modo, el estudio aumentará la competencia técnica de los profesionales de la construcción, promoviendo el uso de alternativas locales para avanzar en el desarrollo urbano y rural.

1.4.4 Justificación ambiental

El proceso de fabricación de cemento es una fuente importante de emisiones de CO_2 en la industria de la construcción. Reemplazar el cemento con puzolanas volcánicas reduciría las emisiones, por lo tanto, disminuir el impacto ambiental del concreto (Judger y Siddique, 2015). Además, el empleo de materiales naturales en el área promovería un modelo de economía circular, mitigando el agotamiento de recursos no renovables y fomentando prácticas más sostenibles en la industria de la construcción.

1.5 Hipótesis de la investigación

1.5.1 Hipótesis general

El efecto del reemplazo parcial del cemento por puzolana de origen volcánico influye significativamente en las propiedades mecánicas y de trabajabilidad del concreto convencional con $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ en la provincia de San Román en el año 2025.



1.5.2 *Hipótesis específicas.*

1. La incorporación de puzolana volcánica como sustituto parcial del cemento altera la trabajabilidad del concreto convencional con $f'c=210$ kg/cm², modificando su consistencia y fluidez en estado fresco.
2. La sustitución parcial del cemento por puzolana volcánica influye en la resistencia a la compresión del concreto convencional con $f'c=210$ kg/cm², presentando una posible mejora en su desempeño mecánico a edades avanzadas debido a la reacción puzolánica.
3. La inclusión de puzolana volcánica en la mezcla de concreto convencional con $f'c=210$ kg/cm² tiene un impacto en su resistencia a la flexión, pudiendo modificar su capacidad para absorber esfuerzos de tracción indirecta.

1.6 Variables e indicadores

1.6.1 *Variable independiente*

Puzolana de origen volcánico

Indicadores:

- Reemplazo de cemento por 8% puzolana de origen volcánico.
- Reemplazo de cemento por 16% puzolana de origen volcánico.
- Reemplazo de cemento por 24% puzolana de origen volcánico.

1.6.2 *Variable dependiente*

Propiedades del concreto convencional

Indicadores:

- Asentamiento
- Resistencia a la Compresión
- Resistencia a la Flexotracción



1.7 Operacionalización de variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variable Independiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo
PUZOLANA DE ORIGEN VOLCANICO	Sustitución de un porcentaje del cemento Portland por puzolana de origen volcánico con el fin de evaluar su impacto en las propiedades del concreto.	Propiedades físicas de la puzolana. Propiedades químicas de la puzolana. Dosificación del reemplazo.	Puzolana de origen volcánico (8%, 16% y 24%)	POV	Ficha de control de calidad del laboratorio	Cuantitativa
				2.19 kg		
				4.37 kg		
				6.56 kg		
Variable Dependiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Valor final	Inst. Medición	Tipo
PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL	Características físicas y mecánicas del concreto influenciadas por el reemplazo parcial de cemento por puzolana volcánica.	Propiedades físicas. Propiedades mecánicas.	Asentamiento	SLUMP	Equipos de laboratorio	Cuantitativa
			Resistencia a compresión	Kg/cm2		
			Resistencia a flexión	Kg/cm2		



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes internacionales

Para, Santana *et al.* (2022) en su trabajo titulado “Durabilidad del hormigón armado con adición de puzolanas naturales de origen volcánico”, Este estudio evaluó las características del concreto modificada utilizando Pozolanas naturales (NP) como un sustituto del cemento o los agregados finos. Se eligieron proporciones de 20/80 agregados puzolanas/cementos o puzolanas/superfinos para la incorporación de agregados. La actividad puzolánica, la durabilidad, la resistencia a la compresión, la resistencia característica, la consistencia de asentamiento, la densidad, la resistividad eléctrica, la profundidad de penetración del agua, la porosidad accesible, la carbonatación y la penetración de cloruro de las mezclas de concreto resultantes se evaluaron y se compararon con los lotes de concreto de referencia, los desprovistos de los adicionales. Los resultados de las mezclas cementosas aumentadas con tuff (PZT) y canteras (PZQ) Pozolanas, cuantificados en MMOL/L, alineados con la evaluación de pozolanas, exhibiendo $[CA(OH)_2]/[OH^-]$ a los 7 días de 6.03 de 6.03 /60.19 para PZQ y 1.78/92.78 para PZT. La actividad puzolánica en estas dosis exhibió los criterios de resistencia y durabilidad requeridos por EHE-08. Se puso especial énfasis en determinar la difusión de



iones de cloruro mediante una forma instrumental del enfoque integral acelerado. La modificación produce valores del coeficiente de difusión comparables a los derivados de enfoques alternativos, mejorando la estabilidad y la calidad de la medición.

Seguidamente, Hossain (2024) En este trabajo se investiga "Cenizas volcánicas y piedra pómez como aditivos del cemento: características puzolánicas, de reacción álcali-sílice y de expansión en autoclave" Este artículo presenta los hallazgos de una investigación que evalúa la idoneidad del polvo de cenizas volcánicas (VA) y Pumice (VP) como aditivos de cemento. La actividad puzolánica de VA y VP se evaluó de acuerdo con el estándar italiano y se consideró satisfactoria. El índice de actividad de resistencia del cemento de Portland y la eficacia de los aditivos VA y VP en la mitigación de la reacción álcali-silica y la expansión de la autoclave se evaluaron de acuerdo con los estándares ASTM. Los cubos de Muestra se fabricaron meticulosamente de acuerdo con los requisitos de ASTM para estas pruebas, utilizando diversas combinaciones con proporciones variables de VA y VP (0–40%) como alternativas para el cemento. Los resultados se evalúan posteriormente con los estándares ASTM para determinar la idoneidad de VA o VP como aditivos de cemento.

Finalmente para, Castro et al. (2017) en su investigación titulada "Impacto de la utilización de puzolanas naturales ecuatorianas" La industria del cemento es responsable de aproximadamente el 8% de las emisiones globales de CO₂, debido a la descomposición del carbonato de calcio en el proceso de producción. Para mitigar este impacto, el uso de puzolana volcánico natural como sustituto parcial del cemento Portland se presenta como una alternativa sostenible. En investigaciones realizadas en Ecuador, reemplazar hasta un 30% del cemento con puzolana volcánico mejora la resistencia a la compresión en un 15% y la resistencia a la flexión en un 10%. Además, este material reduce los costos de producción en un 12%, gracias a su disponibilidad local y menor precio en comparación con el cemento Portland. La sustitución de cemento por puzolana también contribuye a disminuir la huella de carbono del concreto en un 20%, sin comprometer su rendimiento

estructural. Esto demuestra que la puzolana volcánica no solo es beneficioso para el medio ambiente, sino que también es una opción económicamente viable para la industria de la construcción.

2.1.2 Antecedente nacional

Para, Rojas (2017), su investigación titulada "Determinación de las propiedades físico-mecánicas de un concreto de $F'C= 210 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de puzolana volcánica en Cajamarca" Este estudio analiza la evaluación comparativa del concreto normal frente al concreto con puzolana volcánica (traquita en polvo) a relaciones de 10%, 15% y 20%. La intensidad de diseño especificada fue $F'C 210 \text{ kg/m}^2$, con pruebas de resistencia mecánica correspondientes (compresión y flexión) realizadas de acuerdo con los estándares técnicos peruanos. A los 60 días, la resistencia a la compresión aumenta en un 13% con una inclusión del 10% de puzolana volcánica, pero disminuye en un 10% y 19% con adiciones del 15% y 20%, respectivamente. Se logró una mejora del 16,41% en la resistencia a la flexión con una adición del 10% de puzolana volcánica, mientras que se observaron disminuciones de 4.54% y 16.49% con concentraciones de 15% y 20%, respectivamente. La mejor dosis determinada para la formulación de concreto en esta investigación es una inclusión del 10% de puzolana volcánica.

Para, Armas (2023) en su investigación titulada "Influencia del Reemplazo de Cemento por Puzolana Volcánica en la Resistencia a Compresión del Concreto Compactado $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ en la ciudad de Cajamarca" Este estudio buscó evaluar los efectos de reemplazar el cemento con puzolana volcánica al 8%, 12% y el 16% de su peso en las formulaciones de mezclas para producir concreto compactado con una resistencia objetivo de $F'C = 280 \text{ kg/m}^2$; Posteriormente, las resistencias a la compresión se evaluaron a edades de curado de 7, 14 y 28 días. En consecuencia, se produjeron 120 muestras cilíndricas de concreto compactado utilizando los protocolos de dosificación descritos en las pruebas de compactación del suelo del estándar ACI 325-10R, y posteriormente se



sometieron a pruebas de resistencia a la compresión. La dosis que exhibía una resistencia a la compresión óptima fue el concreto compactado con una sustitución de cemento al 8% que utiliza puzolana volcánica, lo que obtuvo una resistencia promedio a la compresión de 301.41 kg/m² después de 28 días de curado; Esto significa una mejora del 5,89% en la resistencia a la compresión en comparación con el concreto de control en el mismo período de curado. La sustitución del 12% produjo una resistencia a la compresión de 289.86 kg/ft², lo que indica una mejora del 1.84% en comparación con el concreto estándar. Por el contrario, la sustitución del 16% del cemento con puzolana volcánica resultó en una ligera reducción de 0.75% en resistencia a la compresión en comparación con el concreto de control después de 28 días de curado. Sustituir el 8% de cemento con puzolana volcánica mejora significativamente la resistencia a la compresión del concreto compactado en relación con otras proporciones.

Para, Collantes (2017), en su título "Estudio de las propiedades del concreto con adición de puzolana volcánica en Cajamarca" Este estudio investigó la alteración en la resistencia mecánica del concreto con la adición de puzolana volcánica a relaciones de 10%, 15% y 20% del peso del cemento, utilizando un estándar de concreto de F'C = 250 kg/cm². Se produjeron un total de 180 muestras, que consisten en formas cilíndricas y binoculares, se produjeron y organizaron en grupos de seis para pruebas de compresión y flexión. Las muestras incluyeron diferentes porcentajes de puzolana y se evaluaron a los 7, 14, 28 y 60 días. Los materiales empleados comprendieron cemento Pacasmayo tipo I, agregados obtenidos del río Cajamarquino y la cantera "La victoria", la puzolana volcánica del distrito de Llagamarca de Baños del Inca, y el agua del campus de la Universidad Nacional de Cajamarca. Se evaluaron las características de los agregados y la puzolana volcánica, ya que estos materiales se consideran indicativos del área del estudio. Los resultados de las pruebas demostraron que la resistencia del concreto a varias tensiones mejoró con tres dosis; Sin embargo, el aumento más notable en la resistencia a la compresión fue del 24.26%, mientras que la resistencia a la flexión aumentó en un 10.20%.



Las mejoras se asociaron con una adición de Puzolana al 10%, realizados a los 60 días, lo que resulta en la determinación de que esta proporción es apropiada para su formulación.

2.1.3 Antecedente de ámbito local

Para, Beltran y Gutierrez (2023) su investigación titulada " Mejoramiento de las propiedades del concreto en condiciones climáticas frías mediante la adición de ceniza volcánica - Puno,2023", Este estudio tuvo como objetivo mejorar las cualidades concretas en las regiones frías empleando cenizas volcánicas, evaluando su eficacia y viabilidad como una opción sostenible en entornos desafiantes. Se empleó un enfoque práctico utilizando un marco cuasiexperimental. El volumen total fue de 1 metro cúbico de concreto, con 0,7 metros cúbicos asignados para pruebas y procesamiento de muestras. A los 28 días, los resultados indicaron mejoras significativas con la incorporación de cenizas a 5%, 10%y 15%: la resistencia a la compresión mejoró en 5.54%, 11.75%y 17.72%, respectivamente, mientras que la resistencia a la flexión aumentó en 5.70%, 11.88 %y 17.25%. El tiempo de configuración fue acelerado por reducciones de 15.74%, 25.46%y 31.02%para la configuración inicial, y 10.51%, 19.32%y 20.17%para la configuración final. La prueba de "caída" reveló una disminución en la consistencia del concreto (17.65%, 33.61%, 40.34%). El uso de cenizas volcánicas mejora la durabilidad del concreto, acelera el proceso de ajuste e influye en su consistencia, por lo que afirmar su eficacia como un aditivo en las regiones frías y subrayar su potencial en el sector de la construcción.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Efecto del reemplazo parcial de cemento por puzolana de origen volcánico sobre las propiedades del concreto convencional

El efecto del reemplazo parcial de cemento por puzolana de origen volcánico en las propiedades del concreto convencional se fundamenta en la utilización de la puzolana



como un material cementante suplementario que mejora la sostenibilidad ambiental al reducir la cantidad de cemento Portland usado, y a su vez mejora ciertas propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto Beltran y Gutierrez, (2023).

La puzolana es un material de origen volcánico, compuesto principalmente de sílice y alúmina, que presenta propiedades aglomerantes al reaccionar con el hidróxido de calcio liberado durante la hidratación del cemento Portland. Esta reacción produce compuestos cementantes secundarios que fortalecen la matriz del concreto. El cemento puzolánico se define como una mezcla de cemento Portland con puzolana natural o artificial en proporciones que pueden variar entre 15% y 40%. Este tipo de cemento muestra menor generación de calor al fraguar, mayor resistencia a agentes químicos, menos permeabilidad y disminución de exudación. Beltran y Gutierrez, (2023)

El reemplazo parcial del cemento por puzolana volcánica tiene impactos medibles en las propiedades físicas y mecánicas del concreto convencional. Estudios recientes han mostrado que sustituciones parciales entre 5% y 15% de puzolana pueden aumentar la resistencia a compresión en un rango aproximado de 2.5% a casi 6%, dependiendo de la dosificación y condiciones específicas de curado. También se manifiestan mejoras en la resistencia a flexión y tracción, aunque en porcentajes muy elevados (como 15%) pueden observarse disminuciones ligeras en algunas resistencias. La trabajabilidad del concreto tiende a reducirse moderadamente conforme aumenta el porcentaje de puzolana debido a su finura y absorción. (Fragoso y Visbal, 2021)

El reemplazo parcial del cemento en mezclas cementicias se refiere a la sustitución de un porcentaje del cemento Portland por materiales alternativos, como residuos industriales o subproductos de origen natural, con el propósito de modificar, optimizar o complementar sus propiedades mecánicas, térmicas y ambientales. Este enfoque no solo contribuye a la reducción de emisiones de CO₂ asociadas a la producción de cemento, sino que también promueve el uso responsable de recursos mediante la valorización de materiales que en muchos casos serían considerados desechos. Entre los materiales

comúnmente utilizados se encuentran la ceniza volante, la escoria de alto horno, las puzolanas naturales y residuos orgánicos calcinados, cada uno con propiedades reactivas particulares que inciden en la hidratación y en la resistencia final del compuesto (Coppiano, 2016).

El efecto del reemplazo parcial se manifiesta principalmente en la evolución de la resistencia a la compresión, en la trabajabilidad de la mezcla y en la durabilidad frente a agentes agresivos. Diversos estudios indican que sustituciones de hasta un 30% pueden mantener o incluso mejorar la resistencia a largo plazo, especialmente cuando el material reemplazante posee características puzolánicas que reaccionan con la cal liberada en el proceso de hidratación, generando compuestos cementantes secundarios. Sin embargo, es fundamental que el porcentaje de reemplazo sea cuidadosamente dosificado, ya que excesos pueden reducir la resistencia inicial y alterar el tiempo de fraguado (Fragoso y Visbal, 2021).

Por tanto, el reemplazo parcial del cemento no solo representa una estrategia técnica viable, sino también una solución ambientalmente responsable en el contexto de la construcción sostenible. Su estudio continuo permite desarrollar nuevas formulaciones más eficientes, resistentes y ecológicas.

2.2.2 Fundamentos del Concreto y el Cemento

El cemento sirve como agente de unión primario en la producción de concreto, que se distingue por su capacidad para solidificar y endurecer al contacto con el agua. El cemento Portland es el tipo principal de cemento, que consiste principalmente en clinker, yeso, y ocasionalmente, aditivos minerales como Puzolana o escoria de horno de alto plazo. Durante la hidratación, el cemento sufre una reacción química con el agua, produciendo compuestos como silicatos de calcio hidratados (C-S-H) e hidróxido de calcio, que mejoran la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto (Mehta y Monteiro, 2021).

El concreto es un material compuesto que consiste en cemento, agregados (tanto finos como gruesos), agua y ocasionalmente, aditivos químicos que mejoran sus



características. El comportamiento estructural está influenciado por varios factores, incluida la relación agua/cemento, la granulometría agregada y el proceso de curado. En condiciones ideales, el concreto puede lograr una resistencia de compresión significativa y mantener su durabilidad contra factores externos como humedad, fluctuaciones de temperatura y agentes corrosivos (Fragoso y Visbal, 2021).

La hidratación del cemento es una fase crucial en la producción de concreto que dicta la resistencia y la estabilidad de la mezcla. Durante la hidratación, los componentes de cemento interactúan con el agua, lo que resulta en una matriz sólida y densa. Los aluminatos y silicatos de calcio son esenciales en el desarrollo de productos de hidratación que confieren cohesión y resistencia al concreto. El control de hidratación eficiente mejora las características mecánicas y alivia problemas como la contracción y el agrietamiento prematuro (Coppiano, 2016).

El concreto típico se caracteriza por la resistencia mecánica, la trabajabilidad y la durabilidad, que fluctúan en función de los materiales empleados y el proceso de fabricación. La resistencia a la compresión es un atributo crítico evaluado a través de pruebas en muestras cilíndricas estandarizadas (ASTM C39). La mano de obra, por el contrario, delinea la simplicidad de la instalación y compactación de concreto, evaluada utilizando la prueba de asentamiento (prueba de caída) de acuerdo con el estándar ASTM C143. La durabilidad se refiere a la permeabilidad del concreto y su resiliencia contra las influencias químicas y ambientales, que son cruciales para el rendimiento perdurable (Quispe, 2019).

Investigaciones recientes en materiales de construcción han abogado por la incorporación de elementos adicionales cementos, como la puzolana, para mejorar el rendimiento del concreto y disminuir la cantidad de cemento de Portland utilizada. Las puzolanas reaccionan con el hidróxido de calcio generado durante la hidratación del cemento, promoviendo el desarrollo de compuestos suplementarios cementosos que mejoran la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto. Este método mejora las características concretas al tiempo que disminuye la huella de carbono vinculada a la

fabricación de cemento, de acuerdo con los objetivos contemporáneos de sostenibilidad en la construcción (Quispe, 2019).

2.2.2.1 Composición química y física del cemento Portland

El cemento Portland es un material hidráulico ampliamente utilizado en la industria de la construcción, destacado por su capacidad para endurecerse y solidificarse tras la exposición al agua. La composición química y física afecta notablemente las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto. El material se obtiene moliendo un clinker, compuesto principalmente de silicatos de calcio, junto con pequeñas cantidades de yeso y otros aditivos que mejoran su efectividad en varias aplicaciones de construcción (Coppiano, 2016).

El cemento de Portland se compone predominantemente de cuatro fases minerales clave: silicato tricálcico (C_3S), silicato de dióxido de calcio (C_2S), aluminato de tricalcio (C_3A) y aluminoferrita de tetracalcio (C_4AF). Los C_3S y los C_2S mejoran la resistencia mecánica del concreto por su reacción con el agua, produciendo productos de hidratación, silicatos de calcio hidratados principalmente (C-S-H), que imparten cohesión y estabilidad al compuesto. En contraste, C_3A influye en la velocidad de ajuste y la susceptibilidad del cemento a las reacciones de sulfato, mientras que C_4AF proporciona resistencia y coloración de alta temperatura al cemento (Quispe, 2019).

Además, el cemento de Portland contiene trazas de óxidos como el óxido de calcio (CAO), el óxido de silicio (SiO_2), el óxido de aluminio (Al_2O_3) y el óxido de hierro (Fe_2O_3), cuyas proporciones influyen en las propiedades finales del material (Judger y Siddique, 2019). Durante la fabricación, estos óxidos reaccionan a altas temperaturas en los hornos de clinker, produciendo las fases minerales especificadas. Un equilibrio óptimo entre estos factores es crucial para garantizar una atmósfera adecuada y una durabilidad adecuada a largo plazo en estructuras de concreto.

El cemento de Portland se suministra como un polvo fino, con sus características determinadas por la rectificación del clinker y la incorporación de aditivos minerales. La finura del cemento, una calidad física importante, se mide por el área de superficie específica de sus partículas. La finura elevada conduce a tasas de hidratación aceleradas, lo que facilita un logro más rápido de la fuerza durante las fases iniciales de concreto (ASTM C204, 2021). La molienda excesiva puede provocar un mayor uso de agua y afectar la trabajabilidad de la mezcla (Coppiano, 2016).

La densidad del cemento es un factor crítico que influye en la dosis y la relación agua/cemento de la mezcla. La densidad absoluta del cemento de Portland varía entre 3.10 y 3.15 g/cm³, mientras que su densidad aparente está influenciada por la concentración de compactación y aire dentro del material. La retención de la humedad y la fluidez del cemento se ve afectada por su granulometría y mezcla aditiva, que puede modificar la capacidad y el comportamiento de absorción de agua en su estado fresco (Quispe, 2019).

La composición química y física del cemento de Portland determina su eficacia en la formulación de concreto. Un equilibrio adecuado entre sus componentes minerales y las características físicas es esencial para que un material exhiba una resistencia mecánica superior, trabajabilidad y durabilidad en muchas aplicaciones de construcción (Gartner et al., 2021). A la luz de las consecuencias ambientales de su producción, se han explorado alternativas como la sustitución parcial del cemento con materiales puzolánicos para mejorar la sostenibilidad, mientras que poca integridad estructural.

2.2.2.2 Hidratación del cemento y formación de productos cementantes

La hidratación del cemento es un evento químico en el que los componentes de cemento se mezclan con el agua para generar agentes unidos que imparten la resistencia y la cohesión al concreto. Este procedimiento es esencial para establecer las propiedades mecánicas y de durabilidad del material, ya que determina la microestructura de la pasta de cemento hidratada. La hidratación comienza cuando el cemento interactúa con agua, lo



que desencadena una serie de reacciones exotérmicas que producen productos cristalinos y geles de reacción (Quispe, 2019).

Los principales componentes en el cemento de Portland que participan en la hidratación son el silicato tricalcium (C_3S) y el silicato de diicalcium (C_2S), que interactúan con el agua para generar silicatos de calcio hidratados (C-S-H) e hidróxido de calcio ($CA(OH)_2$). C_3S promueve el desarrollo temprano de la fuerza del concreto, mientras que C_2S mejora la resistencia en las últimas etapas. La interacción de estos silicatos es notablemente exotérmica, lo que lleva a un aumento de temperatura en la mezcla durante las horas iniciales de configuración (Coppiano, 2016).

Además de los silicatos, la aluminada tricicalcium (C_3A) y la aluminoferrita de tetracalcium (C_4AF) también juegan un papel en el proceso de hidratación. El C_3A reacciona rápidamente con agua en presencia de sulfato de calcio (yeso), produciendo ettringita ($Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$), un compuesto expansivo que influye en el tiempo de fijación del cemento. La ettringita se transforma progresivamente en monosulfoaluminado de calcio, lo que mejora la durabilidad y la densificación de la pasta de cemento hidratada.

El producto clave de la hidratación es el gel C-S-H, que comprende aproximadamente el 60-70% del volumen total de la pasta hidratada y es el principal contribuyente a la resistencia mecánica del concreto. El C-S-H es un material amorfo que se distingue por una estructura muy porosa que proporciona cohesión a la matriz de cemento. El hidróxido de calcio ($CA(OH)_2$) comprende 15-25% de la pasta hidratada y sirve una función secundaria en resistencia mecánica; Sin embargo, es crucial en la reacción puzolánica, donde los materiales suplementarios como las puzolanas interactúan con $CA(OH)_2$ para producir compuestos cementosos adicionales, mejorando así la durabilidad del concreto (Quispe, 2019).

La hidratación del cemento se produce en una serie de etapas bien definidas. En la fase temprana, las reacciones se inician inmediatamente después del contacto con el



agua, liberan el calor de la hidratación y forman una capa de gel alrededor de las partículas de cemento. Durante la fase Dorman, la reacción se ralentiza, lo que permite el transporte y colocación de concreto antes de que se establece. En la fase de aceleración, la cristalización de los productos hidratados mejora la resistencia de la pasta, lo que refuerza la estructura del material. En última instancia, a lo largo del proceso de endurecimiento, el concreto adquiere incrementalmente la resistencia a medida que se completa la hidratación de silicatos y aluminatos (Coppiano, 2016).

La regulación de la hidratación del cemento es crucial para lograr un rendimiento concreto óptimo bajo diversas situaciones ambientales y aplicaciones estructurales. Factores como la relación agua/cemento, la temperatura de curado y la presencia de aditivos pueden influir en la velocidad y la efectividad de la hidratación. Se reconoce el uso de ingredientes de cementación suplementarios, como la puzolana volcánico.

La hidratación del cemento es un proceso complejo que dicta las propiedades finales del concreto. Una comprensión exhaustiva de los mecanismos de hidratación y las interacciones entre sus productos es esencial para la creación de mezclas efectivas y sostenibles. Los avances de la investigación en materiales cementosos sugieren que el control de la hidratación del cemento mediante el uso de puzolanas y otros aditivos mejorará el rendimiento del concreto y reducirá su efecto ambiental en el sector de la construcción (Quispe, 2019).

2.2.2.3 Propiedades del concreto convencional

El concreto convencional es un material compuesto ampliamente empleado en la construcción debido a su fuerza, durabilidad y versatilidad excepcionales. El comportamiento estructural y el rendimiento con el tiempo dependen de varias propiedades físicas y mecánicas influenciadas por la composición de la mezcla, el proceso de curado y los factores ambientales. El concreto típico se caracteriza por la resistencia mecánica, la trabajabilidad, la durabilidad y la permeabilidad, que son cruciales para su eficacia en las estructuras y edificios civiles (Coppiano, 2016).

a. Resistencia mecánica

La resistencia mecánica del concreto es un atributo estructural fundamental, caracterizado por su capacidad para soportar cargas sin falla. La resistencia a la compresión es el criterio principal utilizado para evaluar la calidad del concreto, determinado a través de las pruebas de cilindro de acuerdo con el estándar ASTM C39 (2021). Esta resistencia depende de factores como la relación agua/cemento, granulometría agregada e hidratación del cemento. Además de la compresión, el concreto demuestra resistencia a otras presiones como la tensión y la flexión; Sin embargo, estos valores son significativamente más bajos que su resistencia a la compresión (Quispe, 2019).

La resistencia a la flexión, evaluada por ASTM C78, es crucial para elementos estructurales como vigas y losas, dado que el concreto es un material frágil con capacidad restringida para soportar tensiones directas de tracción. Para mejorar estas propiedades, se pueden incorporar refuerzos como fibras sintéticas o acero estructural, o se pueden emplear materiales de cementación complementarios como Puzzolan, lo que facilita la hidratación más uniforme y reduce la porosidad del material (Coppiano, 2016).

b. Trabajabilidad y características reológicas

La trabajabilidad del concreto se refiere a la facilidad con la que la mezcla fresca se puede colocar, compactar y moldear sin segregación o sangrado excesivo. Las propiedades de este material están influenciadas por el contenido de agua, el tipo de cemento, la forma y la granulación de los agregados, y la posible inclusión de aditivos plastificantes o superplastificantes. La medición del trabajador se realiza utilizando la prueba de liquidación (prueba de caída), según lo especificado por ASTM C143, que evalúa la consistencia de concreto fresco con respecto a su fluidez y cohesión (Quispe, 2019).

El concreto muestra propiedades de fluido no newtonianos desde un punto de vista reológico, con su viscosidad que varía según la fuerza de corte aplicada. La modificación

de la reología es crucial en aplicaciones como el concreto de autocompactación (SCC) y el concreto rociado, donde la fluidez y la estabilidad de la mezcla afectan profundamente la calidad del material endurecido.

c. Robustez y resistencia a las influencias externas

La durabilidad del concreto convencional se define por su capacidad para resistir factores físicos, químicos y ambientales sin deterioro significativo con el tiempo. Los principales factores que afectan la durabilidad del concreto incluyen ciclos de congelación-descongelación, exposición a sulfato y cloruro, carbonatación y reacción álcali-silida. El uso de componentes adicionales, como la puzolana, puede aumentar la durabilidad al reducir la porosidad y aumentar la resistencia química del concreto (Coppiano, 2016).

La prueba de permeabilidad para el agua y el aire es una evaluación ampliamente empleada para medir la durabilidad del concreto, ya que mide la facilidad de infiltración de líquidos en la matriz cementicia. El estándar ASTM C1202 regula la evaluación de la permeabilidad de iones de cloruro, una consideración esencial para las estructuras expuestas a ambientes marinos o suelos agresivos. El concreto que exhibe baja permeabilidad es menos susceptible a la corrosión del acero de refuerzo y la degradación de las influencias externas (Mayta, 2024).

d. Propiedades térmicas y contracción

El concreto convencional posee propiedades térmicas que influyen en su rendimiento estructural. El proceso de hidratación del cemento genera calor sustancial, lo que puede inducir gradientes térmicos en grandes estructuras y dar como resultado un agrietamiento térmico. Para aliviar este efecto, los cementos con concentración de C_3 y aditivos minerales disminuidos, como las puzolanas volcánicas, pueden utilizarse para disminuir la temperatura de reacción (Quispe, 2019).

Un factor notable es la contracción del concreto, que ocurre debido a la evaporación del agua en la mezcla y la consolidación de la pasta cementosa. La retracción plástica

ocurre inmediatamente después de la aplicación de concreto, pero la retracción de secado se manifiesta con el tiempo y puede conducir a fracturas estructurales si no se emplean medidas preventivas, como el curado adecuado (Mayta, 2024).

e. Observaciones finales

Las propiedades del concreto convencional se ven afectadas por varios factores que determinan su efectividad en la construcción estructural. La resistencia mecánica, la trabajabilidad, la durabilidad y la permeabilidad son elementos críticos que afectan su calidad y longevidad. Al seleccionar cuidadosamente los materiales y ajustar el diseño de la mezcla, es posible mejorar estas características y producir concreto con mayor eficiencia estructural. La inclusión de Puzolanas volcánicas en mezclas de concreto es un método efectivo para mejorar el rendimiento y reducir el impacto ambiental, por lo tanto, promover la sostenibilidad en la construcción moderna (Quispe, 2019).

2.2.3 Puzolanas de origen volcánico

Las puzolanas son sustancias silíceas o aluminosilíceas que, cuando se mezclan con agua e hidróxido de calcio producido durante la hidratación del cemento, experimentan una reacción química para formar compuestos de cementación adicionales, lo que mejora la resistencia y la durabilidad del concreto. Las puzolanas de origen volcánico se distinguen por su prevalencia natural y su capacidad para mejorar las propiedades del concreto cuando se usan como reemplazo parcial para el cemento de Portland. Su uso en la construcción se remonta a la antigüedad, especialmente en la arquitectura romana, cuando se empleó ampliamente en la construcción de estructuras duraderas, como el panteón y el colosse (Mayta, 2024).

a. Composición química y mineralógica de la puzolana volcánica

La puzolana volcánica comprende principalmente sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3) y óxidos de hierro (Fe_2O_3), con pequeñas cantidades de otros minerales como Lime (CAO) y Magnesia (MGO). La reactividad depende de su grado de amorfismo, particularmente la

cantidad de sílice y alúmina no cristalina, ya que esta característica mejora la reacción con el hidróxido de calcio (Quispe, 2019).

Desde un punto de vista mineralógico, las Puzolanas volcánicas pueden consistir en vidrio volcánico, feldespatos, zeolitas y cuarzo, con sus proporciones que difieren según el tipo de depósito geológico del que se originan. La presencia sustancial de vidrio volcánico aumenta la reactividad de las puzolanas, pero los minerales cristalinos pueden reducir su eficacia. Las puzolanas pueden mejorar su reactividad a través de procesos de molienda y calcinación, lo que mejora su eficacia en mezclas cementosas (Quispe, 2019).

b. La reacción puzolánica y sus efectos sobre el concreto

La reacción puzolánica es el proceso químico por el cual la puzolana reacciona con hidróxido de calcio (Ca(OH)_2), un subproducto de hidratación del cemento, que conduce a la creación de silicatos de calcio hidratados (C-S-H) y aluminaciones de calcio hidratadas. Estos compuestos son principalmente responsables de la resistencia y la cohesión dentro de la matriz de concreto (Mayta, 2024).

La principal ventaja de esta reacción es la concentración reducida de Ca(OH)_2 libre en la pasta de cemento, lo que mejora la durabilidad del concreto al hacer que sea menos susceptible a la lixiviación y el ataque químico de los sulfatos y los cloruros. Además, el uso de puzolanas volcánicas reduce la porosidad del concreto, mejorando así su resistencia mecánica a largo plazo y resistencia a los ciclos de congelación-descongelación.

c. Efectos de Las puzolanas volcánicas en las propiedades de concreto

El reemplazo parcial del cemento con puzolanas volcánicas puede modificar propiedades específicas del concreto en sus formas frescas y endurecidas. Los principales efectos comprenden:

- La trabajabilidad del concreto puede variar según el tamaño de partícula y la finura de la puzolana. Por lo general, la puzolana fina en polvo mejora la calidad de la mezcla y reduce la segregación; Sin embargo, las partículas más gruesas pueden aumentar las demandas de agua (Torre et al., 2022).

- Resistencia mecánica: aunque la resistencia inicial del concreto puzolánico puede ser menor que la del concreto convencional, generalmente es igual o excede con el tiempo debido al desarrollo progresivo de C-S-H adicional. Esto conduce a una mayor resistencia a la compresión y a la flexión en edad avanzada (Torre et al., 2022).
- La disminución de la porosidad y la mejora de la estructura de la pasta de cemento aumentan la durabilidad y la permeabilidad del concreto con las puzolanas volcánicas, lo que lleva a una mayor resistencia a los ataques químicos, la carbonatación y la entrada de cloruro, lo que lo hace ideal para entornos duros.
- El uso de puzolanas volcánicas mejora la sostenibilidad al reducir la huella de carbono del concreto, ya que disminuye la cantidad de cemento Portland utilizado, cuya producción es muy CO_2 emisiva. Este enfoque es crucial para el progreso de materiales de construcción sostenibles y un impacto ambiental reducido.

d. Aplicación de puzolanas volcánicas en la construcción

Las Puzolanas volcánicas se han empleado en concreto en muchas naciones con una actividad volcánica considerable, como México, Italia y Japón, donde se han instituido regulaciones específicas para su uso en una infraestructura altamente duradera. Los abundantes depósitos volcánicos en Perú, especialmente en la región de San Román, ofrecen potencial de aplicación en la industria de la construcción, facilitando la producción de concreto más resistente y sostenible (Mayta, 2024).

Para lograr un rendimiento óptimo, es esencial formular un diseño de mezcla adecuado, determinar la mejor cantidad de cemento sustituido con puzolana y evaluar su compatibilidad con los agregados y aditivos incluidos en la mezcla. La caracterización de estos materiales a través de pruebas físicas, químicas y mecánicas establece características de calidad y confirma su idoneidad para las aplicaciones estructurales (Torre et al., 2022).

e. Evaluación concluyente

La piedra pómez, derivada de la actividad volcánica, presenta una alternativa viable para mejorar la resistencia mecánica y la durabilidad del concreto. Su capacidad para comprometerse con el hidróxido de calcio mejora la microestructura de concreto, reduciendo la porosidad y aumentando la resistencia a condiciones ambientales severas. Además, su aplicación reduce los efectos ambientales de la producción de cemento, alineándose con los principios de sostenibilidad en la construcción (Torre et al., 2022).

2.2.3.1 Definición y clasificación de las puzolanas

Las puzolanas son sustancias silíceas o aluminosilíceas que, tras la interacción con el agua y el hidróxido de calcio $[Ca(OH)_2]$ liberado durante la hidratación del cemento, sufren una reacción para formar compuestos cementicios, silicatos de calcio hidratados principalmente (C-S-H), que mejoran la resistencia y la durabilidad de concreto. Puzolana, en contraste con el cemento de Portland, no posee propiedades de cementación intrínseca; Más bien, mejora la matriz de concreto y reduce la permeabilidad al reaccionar con hidróxido de calcio (Mayta, 2024).

El término "puzolana" deriva de la ciudad italiana de Pozzuoli, donde los romanos reconocieron y emplearon rocas volcánicas para la construcción de estructuras duraderas, como el panteón y los acueductos. Las puzolanas se emplean ampliamente como agentes de cementación complementarios en la fabricación de concreto más sostenible, reduciendo la dependencia del cemento de Portland y mejorando las cualidades mecánicas y químicas del compuesto.

a. Clasificación de las puzolanas

Las puzolanas se pueden clasificar de acuerdo con su origen como natural o fabricado. Cada categoría tiene subtipos con características únicas y diferentes niveles de reactividad, influyendo en su eficacia en las mezclas cementosas (Torre et al., 2022).

Puzolana natural

Las puzolanas naturales son sustancias naturales en una forma amorfa o parcialmente cristalina, que se distinguen por contenido de sílice elevado y alúmina reactiva. Se originan principalmente de los procesos volcánicos y se emplean después de la molienda y, en algunos casos, la calcinación para mejorar su reactividad.

Las principales clasificaciones de las puzolanas naturales son:

- Las cenizas volcánicas y la toba son materiales piroclásticos ricos en vidrio volcánico, lo que demuestra una alta reactividad y características de cementación superiores cuando se combinan con hidróxido de calcio (Mayta, 2024).
- Las rocas pumicecas y las escorias volcánicas exhiben una estructura porosa y comprenden sílice en un estado amorfo, por lo tanto, promueven la reacción puzolánica.
- Las diatomeas y esquistos silíceos son rocas sedimentarias ricas en sílice que pueden servir como puzolanas cuando se procesan adecuadamente.

Puzolana sintética

Las puzolanas artificiales se originan a partir de subproductos industriales o del procesamiento térmico de minerales naturales. Estas puzolanas se emplean para mejorar su reactividad y adaptarse a diversas aplicaciones de construcción (Torre et al., 2022).

Las clasificaciones principales de las puzolanas artificiales incluyen:

- La ceniza volante es un subproducto de la combustión de carbón en las centrales de energía termoeléctrica, compuesta de partículas esféricas ricas en sílice y alúmina, que proporciona una reactividad puzolanas sustancial (ASTM C618).
- Fume de sílice: un material ultrafino generado en la producción de ferrosilicón y silicio metálico, mejorando significativamente la resistencia y la durabilidad del concreto al reducir su porosidad (Cuello et al., 2024).

- La escoria alta del horno es un subproducto de la fabricación de acero que, cuando se pulveriza, puede reaccionar con hidróxido de calcio para producir compuestos cementosos.
- Arcillas calcadas (metacaolina): un material obtenido de la calcinación de la caolina, destacado por su alta reactividad y empleado para mejorar la durabilidad del concreto, especialmente en entornos adversos.

b. Estándares y regulaciones para la clasificación de Puzolanas

Numerosos criterios regulan la composición y la reactividad de las puzolanas para garantizar su calidad y utilidad en la industria de la construcción. El estándar ASTM C618 especifica los criterios para clasificar y utilizar las puzolanas naturales y artificiales, clasificarlos en la clase N (Puzolanas naturales crudos o calcinados), la clase F (cenizas de rubor de carbón bituminoso o antracita) y clase C (cenizas volantes de lignito o carbón subbituminoso, que contiene cal).

Además, ASTM C311 (2021) regula los métodos de prueba para evaluar la reactividad puzolánica a través de pruebas de actividad, incluidas las evaluaciones de hidróxido de calcio y resistencia en las formulaciones de Muestra. Estas regulaciones son esenciales para la garantía de calidad y la certificación de materiales puzolánicos en aplicaciones de cementación (Cuello et al., 2024).

c. Importancia de Puzolana en la industria de cemento y concreto

La inclusión de puzolanas en la producción de concreto tiene múltiples beneficios en dimensiones mecánicas y ambientales. La reacción puzolánica reduce la cantidad de hidróxido de calcio en la pasta de cemento, disminuyendo por lo tanto la porosidad y la mejora de la resistencia química del concreto a los sulfatos y cloruros (Scivener et al., 2019). El reemplazo parcial del cemento de Portland con puzolanas reduce la huella de carbono de la industria de la construcción, ya que la producción de cemento constituye alrededor del 8% de las emisiones globales de CO_2 (Torre et al., 2022).

Además, la aplicación de Puzolana en regiones volcánicas como la provincia de San Román ofrece la oportunidad de utilizar recursos locales y desarrollar materiales cementosos sostenibles, reduciendo así los costos y mejorando la calidad de la infraestructura construida con concreto modificado por la puzolana volcánica.

d. Evaluación concluyente

Las puzolanas, ya sean naturales o sintéticos, son cruciales para mejorar las propiedades de concreto y fomentar la sostenibilidad en el sector de la construcción. La clasificación por origen facilita la selección del tipo apropiado según las especificaciones del proyecto y las variadas condiciones. Las regulaciones ASTM dictan su uso para garantizar la calidad y el rendimiento en las aplicaciones de cementación (Cuello et al., 2024).

2.2.3.2 Composición química y mineralógica de las puzolanas volcánicas

Puzo volcánico son minerales silicious o aluminosilitos caracterizados por una composición química abundante en elementos reactivos que proporcionan sus propiedades de cementación. La estructura consiste principalmente en sílice (Si_2), alúmina (Al_2O_3) y óxidos de hierro (Fe_2O_3), junto con cantidades menores de otros componentes como calcio (CAO), magnesia (MgO), potasio (K_2O) y sodio (Na_2O). La fusión de estos compuestos es crucial para la reacción puzolánica, en la que la sílice y la alúmina interactúan con el hidróxido de calcio [$\text{CA}(\text{OH})_2$] producido por la hidratación del cemento Portland, produciendo productos cementicos suplementarios que mejoran la resistencia y la durabilidad del concreto (Torre et al., 2022).

El contenido de sílice reactivo en las zonas volcánicas es crucial por su eficacia en las mezclas de concreto, ya que una cantidad aumentada de este compuesto mejora la formación de silicatos de calcio hidratados (C-S-H), que son esenciales para la cohesión y la resistencia mecánica del material. Del mismo modo, la alúmina reactiva ayuda en el desarrollo de aluminatos de calcio hidratados, que contribuyen a la matriz de cementación y ayudan a disminuir la porosidad del concreto (Cuello et al., 2024).

La presencia de exceso de óxidos específicos, como el sodio y el potasio, puede comprometer la durabilidad del concreto debido a la reacción de álcali-sílica (ASR), un fenómeno que induce la expansión y el agrietamiento del material en circunstancias de alta humedad. Para mitigar este peligro, es aconsejable realizar un análisis estricto de la composición química de las puzolanas volcánicas antes de su integración en mezclas cementiciosas (Beltran, 2017).

a. Composición mineralógica de puzolana volcánico

La puzolana volcánica, desde una perspectiva mineralógica, consiste en una mezcla de vidrio volcánico y minerales cristalinos en diferentes cantidades, dependiendo del tipo de erupción y el enfriamiento del material. El vidrio volcánico, creado por el enfriamiento rápido de la lava, es extremadamente reactivo y representa el componente más significativo para la actividad puzolánica. Esta sustancia amorfa comprende sílice y alúmina en una forma no cristalina, lo que le permite reaccionar de manera efectiva con hidróxido de calcio en la mezcla cementicia (Cuello et al., 2024).

b. La puzolana también puede comprender minerales como el vidrio volcánico.

- Los feldspatos (plagioclasa y ortoclasa), que se encuentran en numerosas rocas volcánicas, pueden mejorar la reactividad química en circunstancias específicas de molienda y calcinación (Beltran, 2017).
- Las zeolitas son minerales de aluminosilicato caracterizados por una estructura porosa que mejora la retención de agua y la reactividad en la síntesis de materiales cementicios.
- Cuarzo (SiO_2): aunque prevalece en las puzolanas volcánicas, su forma cristalina no es reactiva, potencialmente disminuye la actividad puzolánica del material cuando está presente en exceso.
- Los óxidos de hierro y titanio pueden afectar el color y las propiedades térmicas del concreto, mientras que su papel en la reactividad puzolánica es mínimo.

- La composición mineral afecta directamente la reactividad de la puzolana. Típicamente, un mayor contenido de vidrio volcánico y zeolitas se correlaciona con una reactividad puzolánica mejorada del material. Por el contrario, una presencia significativa de cuarzo y feldespato puede disminuir su eficacia de cementación (Cuello et al., 2024).

c. Determinantes de la reactividad de la puzolana volcánica

La reactividad de las puzolanas volcánicas en mezclas de cemento y concreto se ve afectada por varios factores, incluidos:

El grado de amorfismo está determinado por la cantidad de sílice y alúmina en un estado amorfo, que influye en la reactividad de la puzolana con hidróxido de calcio. Las Puzolanas que contienen una gran proporción de vidrio volcánico tienen una mayor reactividad en comparación con las dominadas por minerales cristalinos.

La molienda de las puzolanas volcánicas mejora su área de superficie específica, lo que aumenta su reactividad e impacto en la resistencia del concreto. El estándar ASTM C204 indica que el aumento de la finura mejora la uniformidad de la hidratación y disminuye la porosidad en la matriz de cemento (Beltran, 2017).

Contenido de impureza: la existencia de minerales no reactivos o componentes alcalinos podría influir negativamente en la reactividad de la puzolana y socavar la durabilidad del concreto (Cuello et al., 2024).

Condiciones de calcinación: si bien los papases volcánicos no requieren invariablemente la calcinación, los tratamientos térmicos específicos podrían mejorar su reactividad al disolver las fases minerales cristalinas y aumentar su contenido de sílice reactivo.

d. Regulaciones y tratados para la caracterización de las puzolanas volcánicas

Varias reglas exigen ciertas pruebas para evaluar la calidad y la reactividad de las puzolanas volcánicas. ASTM C618 (2021) gobierna la categorización y las especificaciones químicas para las puzolanas naturales, mientras que ASTM C311 (2021)

delinea las metodologías de prueba para evaluar su actividad pozolánica. Los ensayos más utilizados incluyen:

- Prueba de actividad pozolánica (ASTM C311): evalúe la capacidad de la puzolana para interactuar con hidróxido de calcio en soluciones acuosas.
- Análisis XRD (difracción de rayos X): facilita la identificación de fases cristalinas y amorfas en la puzolana.
- Análisis termogravimétrico (TGA/DSC): evalúe las alteraciones térmicas vinculadas a la descomposición de minerales y productos de hidratación.

Los rompecabezas volcánicos exhiben una variabilidad significativa en la composición química y mineralógica, conformada por su origen geológico y extensión de procesamiento. La reactividad está influenciada principalmente por los niveles de sílice y alúmina amorfa, además del tamaño de partícula y la pureza química. La evaluación de estos componentes según las regulaciones internacionales es crucial para garantizar su eficacia en las mezclas de concreto (Toapanta et al., 2021).

2.2.3.3 Reacción pozolánica y su impacto en el concreto

La reacción pozolánica es un proceso químico que involucra minerales ricos en sílice (Si_2) y alúmina (Al_2O_3), como la puzolana volcánica, que mejora las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto al introducir compuestos cementosos complementarios. Este procedimiento es esencial para optimizar el rendimiento del concreto, ya que reduce la cantidad de hidróxido de calcio libre en la matriz de cemento, mejorando por lo tanto su estabilidad química y disminuyendo la vulnerabilidad a agentes agresivos como sulfatos y cloruros (Beltran, 2017).

A diferencia de la hidratación del cemento de Portland, que genera productos de cementación primarios como silicatos de calcio hidratados (C-S-H) e hidróxido de calcio, la reacción pozolánica se caracteriza por el agotamiento gradual de este último, lo que resulta en una microestructura densa con una disminución porosidad. La mejora de la



matriz de concreto reduce significativamente la permeabilidad del material, lo que la hace menos susceptible a la infiltración de agua y el impacto de sustancias nocivas que podrían socavar su durabilidad con el tiempo (Toapanta et al., 2021).

La evolución de la reacción puzolánica es un proceso gradual que ocurre en múltiples fases. En las etapas iniciales de curado, la actividad puzolánica es limitada, ya que la hidratación del cemento de Portland facilita principalmente el crecimiento de la resistencia inicial. La interacción entre la puzolana y el hidróxido de calcio se acelera de 7 a 28 días, lo que lleva al desarrollo de productos cementosos suplementarios que mejoran la resistencia mecánica del concreto. En las fases posteriores, la reacción puzolánica mejora aún más la composición de la pasta de cemento, lo que lleva a una mayor durabilidad y estabilidad química (Beltran, 2017).

El beneficio principal de la reacción puzolánica es su potencial para mejorar la durabilidad del concreto. La reducción de la cantidad de hidróxido de calcio libre en la matriz de cemento disminuye la susceptibilidad del concreto a los mecanismos de deterioro, como la lixiviación de calcio, la expansión de las reacciones de álcali-sílica y el ataque de sulfato. Esta calidad es especialmente vital en estructuras expuestas a condiciones climáticas severas, como puentes, túneles y edificios costeros, donde la durabilidad es crucial para el rendimiento sostenido (Toapanta et al., 2021).

La reacción puzolánica mejora la durabilidad y reduce la temperatura de hidratación del concreto. La hidratación del cemento de Portland es una reacción exotérmica que genera calor, lo que puede provocar grietas térmicas en edificios sustanciales. El reemplazo parcial del cemento con puzolanas volcánicas reduce el calor liberado durante la hidratación, por lo tanto, mitigando el riesgo de agrietarse y mejorar la estabilidad dimensional del concreto en estructuras a gran escala (Beltran, 2017).

La reacción puzolánica mejora la durabilidad a largo plazo del concreto desde un punto de vista mecánico. Aunque la resistencia inicial de las mezclas que incorporan puzolanas volcánicas puede ser menor que la del concreto convencional debido a las tasas de hidratación reducidas, el concreto puzolánico generalmente excede la resistencia del



concreto de cemento no sustituido en edades posteriores, atribuibles a la formación continua de productos cementos secundarios que mejoran la matriz de material. El uso de Puzolanas se recomienda especialmente en estructuras que requieren alta resistencia y durabilidad a largo plazo.

Los impactos ambientales ventajosos del empleo de Puzolanas volcánicas en la industria de la construcción constituyen otro aspecto importante de la reacción puzolánica. La producción de cemento de Portland contribuye significativamente a las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) en el sector de la construcción. Reemplazar parcialmente el cemento con Puzolanas disminuye la cantidad de clínker en la mezcla, por lo tanto, reduciendo significativamente las emisiones de CO_2 y las demandas de energía en la fabricación de cemento. Esta estrategia corresponde con los objetivos internacionales de la mitigación de la sostenibilidad y el cambio climático dentro de la industria de la construcción (Beltran, 2017).

En resumen, la reacción puzolánica es esencial para aumentar el concreto, ya que disminuye la porosidad, mejora la resistencia mecánica y aumenta la durabilidad del material. La capacidad de absorber el hidróxido de calcio y generar compuestos adicionales cementosos mejora la microestructura de concreto, mejorando la resiliencia a las fuerzas externas y reduciendo su impacto ambiental. En la provincia de San Román, el uso de puzolanas volcánicas puede proporcionar una alternativa viable y sostenible para la fabricación de concreto más duradero y eficiente, en línea con las modernas prácticas de construcción sostenibles (Toapanta et al., 2021).

2.2.3.4 Propiedades de las puzolanas volcánicas utilizadas en la construcción

Las puzolanas volcánicas son materiales complementarios cementosos utilizados en la construcción por su capacidad para mejorar las cualidades mecánicas y la durabilidad del concreto. La composición química y mineralógica afecta directamente su reactividad y eficacia puzolánica en mezclas cementicias. Además, su aplicación en el sector de la

construcción mejora la sostenibilidad al minimizar el uso del cemento de Portland y reducir la huella de carbono asociada con la producción de concreto (Campos, 2024).

a. Propiedades fisicoquímicas

Las propiedades físicas de la puzolana volcánica influyen directamente en su efectividad en las formulaciones concretas. Un atributo crucial es su finura y área de superficie específica, que afectan su capacidad de respuesta. Un tamaño de partícula reducido de Puzolana amplifica su reactividad con hidróxido de calcio [$\text{CA}(\text{OH})_2$] dentro de la matriz de cemento, promoviendo la formación de productos complementarios cementosos y mejorando la resistencia y la durabilidad del concreto (Toapanta et al., 2021).

Un atributo físico significativo es la densidad aparente, que fluctúa en función de la composición y la fuente de material volcánico. Las puzolanas volcánicas a menudo poseen densidades más bajas que el cemento de Portland, lo que puede afectar la relación agua/cemento y las proporciones materiales en la mezcla de concreto (García-Lodeiro, Fernández-Jiménez y Palomo, 2020). La morfología y la textura de las partículas influyen en la trabajabilidad concreta; Las puzolanas con partículas esféricas o finamente molidas mejoran la fluidez de la mezcla, sin embargo, aquellos con partículas angulares pueden elevar las demandas de agua.

b. Características químicas

Las puzolanas volcánicas consisten principalmente en sílice amorfa (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3), que son los constituyentes que proporcionan su reactividad puzolánica. El hidróxido de calcio producido durante la hidratación del cemento de Portland facilita el desarrollo de silicatos de calcio hidratados (C-S-H) y aluminatos de calcio hidratados (C-A-H), lo que mejora la cohesión y la resistencia del concreto (Toapanta et al., 2021).

La adición de óxidos de hierro (Fe_2O_3), magnesia (MgO) y cal (CAO) en cantidades reguladas puede mejorar la estabilidad química del concreto; Sin embargo, los niveles excesivos de elementos específicos, como los óxidos alcalinos (Na_2O y K_2O), pueden dar

lugar a problemas como la reacción de álcali-Sílica (ASR), lo que provoca la expansión y el agrietamiento del material en condiciones de alta humedad. Una evaluación química de las puzolanas volcánicas es esencial antes de su integración en formulaciones concretas, asegurando la compatibilidad con otros materiales cementosos y su estabilidad duradera (Campos, 2024).

c. Actividad puzolánica

La reactividad puzolánica de la puzolana volcánica depende de su concentración de sílice y alúmina amorfa, junto con su capacidad para reaccionar con hidróxido de calcio en condiciones de hidratación. Las Puzolanas volcánicas con una relación más alta de vidrio volcánico y el contenido mineral cristalino inferior exhiben una reactividad mejorada, por lo tanto, aumentando su eficacia en la mejora de las cualidades concretas (Toapanta et al., 2021).

Para evaluar la reactividad puzolánica, se emplean varios métodos estandarizados, incluida la prueba de actividad puzolánica según ASTM C311, que cuantifica la resistencia a la compresión de Muestras con sustitución de puzolana. La difracción de rayos X (XRD) identifica las fases cristalinas y amorfas, mientras que el análisis termogravimétrico (TGA) y la calorimetría de escaneo diferencial (DSC) evalúan la pérdida de masas relacionada con la degradación térmica de los productos de hidratación (Campos, 2024).

d. Impacto en las características del concreto

La incorporación de puzolanas volcánicas en la construcción influye significativamente en varias propiedades del concreto, tanto en sus estados frescos como endurecidos. Los principales impactos incluyen:

La mejora de la durabilidad: la inclusión de las puzolanas volcánicas disminuye la porosidad del concreto, lo que restringe la entrada de agentes nocivos como los sulfatos y los cloruros, aumentando así la resiliencia del material en entornos hostiles.

Durabilidad mecánica a largo plazo mejorada: si bien el concreto que incorpora las puzolanas volcánicas puede exhibir una resistencia inicial disminuida debido a una reacción más lenta en comparación con el cemento de Portland, su resistencia a largo

plazo es típicamente superior, ya que la formación continua de C-H mejora la microestructura del material (Toapanta et al., 2021).

La utilización de las puzolanas volcánicas como un sustituto parcial para el cemento de Portland mitiga el calor producido durante la hidratación, lo que disminuye la probabilidad de agrietamiento térmico en grandes construcciones.

Las mejoras en la trabajabilidad dependen de la finura y la morfología de las partículas.

e. Evaluación definitiva

Las puzolanas volcánicas poseen características físicas y químicas que los hacen apropiados para la industria de la construcción, ya que mejoran la durabilidad, la fuerza y la sostenibilidad del concreto. La composición, abundante en sílice y alúmina reactiva, facilita el desarrollo de compuestos de cementación suplementarios que mejoran la microestructura del material, lo que aumenta su durabilidad a largo plazo. Evaluar sus cualidades de acuerdo con los estándares internacionales es crucial para garantizar su eficacia en las mezclas de cemento (Toapanta et al., 2021).

2.2.4 Efecto del Reemplazo Parcial de Cemento por Puzolanas Volcánicas en el Concreto

El reemplazo del cemento de Portland con puzolanas volcánicas en la fabricación de concreto se investiga a fondo por sus efectos positivos sobre la resistencia mecánica, la durabilidad y la sostenibilidad del material. La puzolana volcánica, cuando se combina con hidróxido de calcio $[CA(OH)_2]$ generado durante la hidratación del cemento, produce compuestos de cemento adicionales que mejoran la densidad de la matriz de concreto y aumentan su rendimiento a largo plazo. El empleo de estos materiales como alternativas para el cemento mejora las propiedades mecánicas del concreto al tiempo que reduce simultáneamente el impacto ambiental asociado con la producción de clinker, la principal fuente de emisiones de CO_2 en la industria del cemento (Barrientos, 2020).

a. Efecto sobre la resistencia a la compresión del concreto

El reemplazo parcial del cemento con puzolanas volcánicas influye considerablemente en la resistencia a la compresión del concreto. Inicialmente, la resistencia del concreto con puzolana puede ser menor que la del concreto tradicional debido a la cantidad disminuida de clinker hidratado disponible para la formación temprana de compuestos de cementación. En etapas posteriores, el concreto que contiene la puzolana volcánica puede coincidir o exceder la resistencia del concreto tradicional, a medida que la reacción puzolánica continúa con el tiempo, produciendo silicatos de calcio hidratados (C-S-S-H) que mejoran la microestructura del material y aumentan su cohesión (Campos, 2024).

Los estudios demuestran que los reemplazos de cemento varían del 10% al 30% utilizando la puzolana volcánica. Además, la aplicación de estos componentes puede reducir la separación de la mezcla y aumentar su cohesión, lo que mejora el rendimiento estructural (Campos, 2024).

b. Impacto en la resistencia a la flexión y al módulo elástico

La resistencia a la flexión del concreto es una propiedad crítica en elementos sometidos a fuerzas de flexión y tensión indirecta, incluidas vigas y losas. La incorporación de puzolanas volcánicas puede influir en esta característica, dependiendo del % de reemplazo y la calidad de la puzolana empleado. El uso de reemplazo de cemento moderado generalmente conserva la resistencia a la flexión dentro de los parámetros aceptables; Sin embargo, cuando los niveles de reemplazo superan el 30%, puede surgir un deterioro en esta propiedad debido a la cantidad disminuida de clinker en la mezcla (Barrientos, 2020).

El módulo de elasticidad, que mide la rigidez del concreto, también puede verse afectado por el reemplazo de cemento con puzolana volcánica. En algunos casos, la microestructura mejorada del concreto de Puzzolánico mejora la resistencia a la deformación a largo plazo; Sin embargo, en combinaciones con alta concentración de

puzolana, la cantidad reducida de clínker puede afectar negativamente la capacidad de carga inicial del concreto.

c. Efecto sobre la trabajabilidad y consistencia de la combinación

La trabajabilidad del concreto, definida por la simplicidad de la mezcla, la colocación y la compactación sin segregación, es un atributo esencial en la aplicación de puzolana volcánica. La influencia de estos materiales en la trabajabilidad está dictada principalmente por su finura, morfología y absorción de agua. Las puzolanas volcánicas que consisten en partículas finas pueden mejorar la cohesión de la mezcla y reducir la segregación; Sin embargo, aquellos con alta porosidad pueden aumentar las demandas de agua, por lo que afectan la fluidez del concreto (Barrientos, 2020).

Para mejorar la trabajabilidad del concreto puzolánico, es una práctica estándar utilizar superplastificantes, que aumentan la fluidez sin aumentar la relación agua/cemento. Además, los estudios demuestran que una dosis adecuada de Puzolanas puede mejorar la estabilidad de la mezcla y aumentar su resistencia a la exudación y sangrado (Campos, 2024).

d. Variaciones en la permeabilidad y durabilidad del concreto

Reemplazar el cemento con las puzolanas volcánicas mejoran la durabilidad del concreto principalmente al reducir la permeabilidad del material. La reacción puzolánica mejora la estructura de los poros, reduciendo la conectividad de los vacíos y restringiendo la penetración de sustancias dañinas, como sulfatos, cloruros y dióxido de carbono.

Esta característica es particularmente beneficiosa para las estructuras expuestas a condiciones climáticas severas, como puentes, túneles e infraestructuras hidráulicas. El concreto que contiene hasta al 25% de Puzolana volcánica ha mejorado la resistencia a la carbonatación y al ataque de sulfato en comparación con las mezclas convencionales. Además, la disminución de la cantidad de hidróxido de calcio en la matriz de concreto disminuye la lixiviación de este compuesto, por lo que aliviar el deterioro de la cohesión interna del material con el tiempo (Barrientos, 2020).

Factores que influyen en la efectividad del concreto que incorpora la puzolana volcánico

Los efectos de reemplazar parcialmente el cemento con puzolanas volcánicos en concreto están determinados por varios factores, que incluyen:

Los niveles de reemplazo moderados (10%-25%) a menudo mejoran las propiedades mecánicas y de durabilidad; Sin embargo, los altos niveles de reemplazo pueden socavar la resistencia inicial del concreto.

El tamaño de partícula y la finura del material puzolanico afectan directamente su reactividad y rendimiento en las mezclas de cemento; Los materiales más finos demuestran cualidades superiores (Campos, 2024).

El curado efectivo es esencial para promover la ejecución óptima de la reacción puzolánica, especialmente durante las fases iniciales del concreto.

Compatibilidad con los aditivos: la adición de superplastificantes y agentes reductores de agua puede mejorar la trabajabilidad del concreto puzolánico y contrarrestar cualquier aumento en los requisitos de agua.

e. Evaluación concluyente

El reemplazo parcial del cemento con puzolanas volcánicos mejora efectivamente la fuerza, la durabilidad y la sostenibilidad del concreto. Su impacto en la resistencia mecánica y la reducción de permeabilidad lo convierte en una opción apropiada para estructuras expuestas a condiciones climáticas severas. Sin embargo, su efectividad depende de varios factores, incluida la finura del material, la relación de sustitución y las condiciones de curado. Este estudio de Puzolanas en la provincia de San Román evaluará su importancia en el sector de la construcción y su capacidad para reducir los efectos ambientales de la producción de cemento (Barrientos, 2020).

2.2.4.1 Influencia en la resistencia a la compresión del concreto

La resistencia a la compresión es una característica esencial del concreto, ya que determina su capacidad para resistir las cargas sin experimentar problemas estructurales.



El uso de puzolanas volcánicas como reemplazo parcial para el cemento de Portland puede influir significativamente en esta característica, dependiendo del porcentaje de sustitución, la reactividad de la puzolana y las condiciones de curado. La inclusión de puzolanas volcánicas a menudo mejora la resistencia a la compresión a largo plazo del concreto; Pero, el rendimiento de la edad temprana puede verse afectado negativamente porque al contenido reducido de clinker en la mezcla (Campos, 2024).

En las primeras fases del curado de concreto (1 a 7 días), la resistencia a la compresión de las mezclas que incorporan puzolanas volcánicas pueden ser inferiores a la del concreto tradicional, debido a la cinética más lenta de la reacción puzolánica en comparación con la hidratación del cemento de Portland. La presencia reducida de clinker en la mezcla reduce la cantidad de silicatos de calcio hidratados primero producidos (C-S-H), lo que puede afectar la fuerza temprana del material. A medida que avanza la reacción de Puzolanas, el puzolana consume el hidróxido de calcio producido durante la hidratación del cemento, lo que resulta en la formación de compuestos de cementación adicionales que mejoran la densidad de la matriz de concreto y aumentan su resistencia mecánica (Barrientos, 2020).

El concreto con sustitución parcial del cemento por las puzolanas volcánicas demuestra una resistencia a la compresión comparable o supera la del concreto convencional después de 28 días de curado. Los estudios demuestran que el concreto, incluido la puzolana volcánica, puede sustituir del 10% al 30% del cemento Portland. Esta mejora surge de la formación continua de C-S-H secundario, lo que mejora la microestructura del material y reduce la porosidad, por lo tanto, optimiza la distribución del estrés en la mezcla cementosa (Mejias, 2021).

El porcentaje óptimo de reemplazo de cemento con puzolanas volcánicas para mejorar la resistencia a la compresión depende de varios factores, incluida la finura de Puzolana, el contenido de sílice reactivo y las condiciones de curado. Los niveles de reemplazo entre el 15% y el 25% han mostrado un equilibrio efectivo entre la resistencia inicial y a largo plazo, al tiempo que preservan la trabajabilidad de la mezcla. Sin embargo,



emplear porcentajes de reemplazo más allá del 30% puede afectar negativamente la fuerza temprana debido a la cantidad reducida de cemento de Portland, por lo tanto, limitando los proyectos que requieren un desarrollo rápido de la fuerza.

Un determinante crítico que influye en la resistencia a la compresión del concreto con la puzolana volcánico es la relación agua/cemento (A/C). Para garantizar un desarrollo de resistencia óptimo, es esencial manejar esta conexión, ya que el agua excesiva podría aumentar la porosidad y reducir la cohesión de la mezcla. La utilización de aditivos superplastificantes ha demostrado ser efectiva para mejorar la trabajabilidad al tiempo que preserva la resistencia mecánica del concreto puzolana (Mejias, 2021).

La inclusión de puzolanas volcánicas mejora la resistencia del concreto a la compresión, ciclos de congelación-descongelación, exposición a sulfato e ingreso de cloruro. La reducción del hidróxido de calcio libre dentro de la matriz de cemento disminuye la susceptibilidad del concreto a la lixiviación y la formación de compuestos expansivos que podrían inducir el agrietamiento interno. El concreto que usa puzolanas volcánicas tiene una resistencia mecánica comparable o superior al del concreto convencional, al tiempo que demuestra una estabilidad mejorada en condiciones ambientales severas (Barrientos, 2020).

En conclusión, el reemplazo parcial del cemento de Portland con puzolanas volcánicas influye notablemente en la resistencia a la compresión del concreto. Puede ocurrir una ligera reducción en la resistencia a una edad temprana; Sin embargo, la posterior formación de productos de cementación secundaria mejora la cohesión y la densificación del material, lo que permite que el concreto alcance los valores de resistencia que cumplen o superan los de las mezclas tradicionales. Mejorar los beneficios de este material en la construcción requiere optimizar el porcentaje de reemplazo, la gestión de la relación agua/cemento y utilizar aditivos apropiados.

2.2.4.2 Impacto en la resistencia a la flexión y módulo de elasticidad

La resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad son características esenciales en el rendimiento estructural del concreto, especialmente en componentes sujetos a presiones de tracción y flexión, incluidos haces, losas y pavimentos. El uso de puzolanas volcánicas como reemplazo parcial para el cemento de Portland influye significativamente en estas propiedades, dependiendo de factores como la finura material, la reactividad puzolánica y la relación de sustitución utilizada. A diferencia de la resistencia a la compresión, que se relaciona con la capacidad del concreto para resistir las cargas axiales, la resistencia a la flexión evalúa su rendimiento bajo tensiones de tracción indirectas, mientras que el módulo de elasticidad cuantifica su rigidez y resistencia a la deformación bajo carga (Barrientos, 2020).

Efecto sobre la resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión del concreto es una característica esencial en la construcción de estructuras expuestas a cargas o impactos dinámicos, como carreteras y pisos industriales. El uso de puzolanas volcánicas puede influir en esta característica modificando la matriz de cemento y la interacción entre los productos de hidratación de cemento y los procesos puzolánicos. El concreto que contiene 10% a 25% de las puzolanas volcánicas como sustituto de cemento tiene una resistencia a la flexión que es equivalente o que excede ligeramente la del concreto convencional, especialmente en las etapas posteriores de curado (Barrientos, 2020).

La mejora de la resistencia a la flexión en las mezclas de puzolánicos está directamente vinculada a la formación de compuestos adicionales cementosos, como los silicatos de calcio hidratados (C-S-H), que fortalecen la cohesión de la matriz y optimizan la distribución de carga en el concreto. Sin embargo, cuando los porcentajes de reemplazo superiores al 30%, la reducción en el contenido de clinker puede obstaculizar el desarrollo de la fuerza inicial, comprometiendo la capacidad del concreto para resistir las tensiones de flexión a las edades tempranas.



Los estudios demuestran que, después de 90 días de curado, el concreto con puzolana volcánico del 15% al 20% como sustituto del cemento muestra una microestructura mejorada y una porosidad del material disminuido. Este efecto es particularmente beneficioso en las aplicaciones que requieren concreto con resistencia a la tracción elevada, como en puentes rígidos y pavimentos (Mejias, 2021).

Efecto sobre el módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del concreto mide su rigidez y capacidad para soportar las fuerzas aplicadas. La incorporación de puzolanas volcánicas en la formulación cementosa podría influir en esta propiedad en muchos modales. El módulo de elasticidad del concreto se correlaciona con su resistencia a la compresión y la densidad de su microestructura. El concreto con las zonas volcánicas tiene una microestructura más densa debido a la reacción puzolánica, lo que indica que su módulo de elasticidad puede mantenerse o mejorarse en comparación con el concreto convencional (Barrientos, 2020).

El efecto de las puzolanas volcánicas en el módulo de elasticidad depende de la relación de reemplazo. Los porcentajes de reemplazo entre el 15% y el 25% permiten que el módulo de elasticidad se adhiera a los criterios convencionales, sin afectar significativamente la capacidad de carga del concreto. La utilización de porcentajes superiores al 30% puede dar lugar a una disminución de la cantidad de cemento de Portland en la mezcla, lo que podría reducir la rigidez del concreto, por lo tanto, reducir el módulo de elasticidad y aumentar la deformabilidad del material (Mejias, 2021).

La granulometría y la distribución de los agregados influyen sustancialmente en el módulo de elasticidad del concreto con las puzolanas volcánicas. Los agregados densos afectan significativamente la rigidez del concreto; Por lo tanto, la selección de agregados con propiedades mecánicas apropiadas puede mitigar las reducciones potenciales en la rigidez causada por la sustitución parcial del cemento. Además, la utilización de técnicas de curado prolongadas fomenta el desarrollo de la resistencia y permite que la respuesta



puzolánica mejore notablemente la consolidación de la microestructura de cementación (Ibarcena, 2019).

Factores que influyen en la resistencia a la flexión y al módulo elástico

El impacto de reemplazar parcialmente el cemento con las puzolanas volcánicas en la resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad en el concreto está influenciado por varios factores, particularmente:

La relación de reemplazo: las sustituciones entre 10% y 25% típicamente mejoran la resistencia a la flexión y mantienen el módulo de elasticidad; Sin embargo, las proporciones de más del 30% pueden reducir la rigidez del concreto.

La calidad y estructura de la puzolana: los materiales de alta calidad mejoran la reacción puzolánica, lo que aumenta la resistencia y la densidad de la matriz de cemento.

Circunstancias correctivas: una cura apropiada es esencial para promover la resistencia y estabilizar la microestructura del concreto (Ibarcena, 2019).

Clasificación de los agregados: la selección de agregados con alta resistencia mecánica ayuda a compensar las reducciones potenciales en la rigidez del concreto cuando hay sustitución sustancial del cemento (Mejias, 2021).

La aplicación de superplastificantes puede mejorar la trabajabilidad del concreto mientras mantiene sus propiedades mecánicas.

Evaluación concluyente

El reemplazo parcial del cemento Portland con puzolanas volcánicas demuestra un impacto diferencial en la resistencia a la flexión y al módulo de elasticidad del concreto. A niveles de reemplazo moderados (10%-25%), la resistencia a la flexión puede mantenerse o incluso mejorar con el tiempo debido al refinamiento microestructural y la producción de materiales de cementación adicionales. El módulo de elasticidad se puede mantener dentro de los límites aceptables cuando la granulometría y las condiciones de curado son óptimas. Sin embargo, las sustituciones superiores al 30% pueden afectar la rigidez del

concreto, aumentando su deformabilidad y reduciendo su capacidad de carga inicial. La evaluación experimental del concreto, incluidos las puzolanas volcánicas en la provincia de San Román, determinará su integridad estructural e idoneidad para proyectos de ingeniería civil que requieren un equilibrio de flexibilidad y fuerza (Ibarcena, 2019).

2.2.4.3 Efecto en la trabajabilidad y consistencia de la mezcla

La trabajabilidad y la consistencia del concreto son atributos cruciales que influyen en su instalación, compactación y procesos de acabado. El uso de puzolanas volcánicas como reemplazo parcial para el cemento de Portland afecta estas propiedades mediante la modificación de la reología de la mezcla, los requisitos de agua y las interacciones entre los componentes de cementación. La trabajabilidad del concreto se refiere a la fluidez y cohesión de la mezcla en su forma fresca, mientras que la consistencia indica su capacidad para mantener su forma bajo su propio peso (Mejias, 2021).

Efecto sobre la funcionalidad

La trabajabilidad del concreto que contiene puzolanas volcánicas puede variar según la finura, la porosidad y la reactividad de la puzolana utilizado. El reemplazo parcial del cemento con puzolanas volcánicas puede producir efectos ventajosos y adversos sobre la trabajabilidad de la mezcla. En algunos casos, la adición de Puzolana mejora la cohesión y reduce la segregación, por lo tanto, ayuda en la colocación del concreto. Sin embargo, cuando Puzolana demuestra una porosidad significativa o tiene una granulometría gruesa, la necesidad del agua puede aumentar, lo que reduce la fluidez de la mezcla (Ibarcena, 2019).

Los estudios demuestran que el concreto, incluida la puzolana volcánica como sustituto de cemento, a concentraciones del 10% al 20% puede mantener una trabajabilidad adecuada sin afectar significativamente la fluidez de la mezcla. Cuando los reemplazos exceden el 25%, la mezcla puede volverse más seca y menos viable debido a

la absorción de agua mejorada por la puzolana, obstaculizando la colocación y la compactación en ausencia de aditivos (Mejias, 2021).

Se utilizan productos químicos superplastificantes para mejorar la fluidez de la mezcla sin aumentar la relación agua/cemento, por lo tanto, mitigar los impactos negativos. Estos aditivos mejoran la trabajabilidad y preservan una relación de agua/cemento óptimo, por lo tanto, mantienen la resistencia y la durabilidad del concreto con el tiempo.

Efecto sobre la consistencia del concreto

La consistencia del concreto con las puzolanas volcánicas se evalúa utilizando la prueba de asentamiento de cono Abrams, como se describe por el estándar ASTM C143, que evalúa la fluidez de la mezcla en su estado fresco. La consistencia está influenciada por la finura de la puzolana, su capacidad de absorción de agua y la dispersión de partículas dentro de la matriz de cementación (López Y Melo, 2024).

El concreto con un reemplazo del cemento del 10% al 20% con puzolanas volcánicas demuestra una consistencia similar a la del concreto convencional, si la granulometría de la puzolana es adecuada. Cuando los reemplazos superan el 25%, el asentamiento de concreto disminuye, lo que significa una disminución de la fluidez de la mezcla y requiere un aumento en el contenido de agua o el uso de aditivos modificadores de la viscosidad (Ibarcena, 2019).

Un componente relevante es la tendencia a la exudación y la segregación, que puede modificarse al incluir puzolanas volcánicas en la mezcla. La granulometría fina, la puzolana puede mejorar la cohesión de la mezcla y reducir la exudación, lo cual es beneficioso en las aplicaciones que requieren concreto homogéneo y bien competido. Sin embargo, las puzolanas con partículas más grandes o una porosidad aumentada pueden intensificar la segregación de la mezcla, por lo que socavando la calidad del concreto en su estado fresco y su integridad estructural una vez endurecida (López Y Melo, 2024).



Factores que influyen en la trabajabilidad y la consistencia

- El impacto de sustituir parcialmente el cemento con puzolanas volcánicas en la trabajabilidad y consistencia de concreto depende de varios factores, que incluyen:
- La finura y la granulometría de Puzolana: Las puzolanas más finas generalmente mejoran la cohesión de la mezcla, mientras que las partículas más gruesas pueden aumentar la demanda de agua y afectar la fluidez.
- Porosidad y absorción de agua: las puzolanas volcánicas con alta capacidad de absorción pueden aumentar el uso del agua, lo que reduce la trabajabilidad del concreto.
- Relación de sustitución: las sustituciones del 10% al 20% mejoran la trabajabilidad; Sin embargo, las sustituciones superiores al 25% pueden dar como resultado una mezcla más seca que es más difícil de manejar sin adiciones (Ibarcena, 2019).
- La inclusión de superplastificante y productos químicos reductores de agua mejora la fluidez al tiempo que preserva la resistencia del concreto (López Y Melo, 2024).
- El método de mezcla y los parámetros de curado pueden mejorar la dispersión de la puzolana dentro de la mezcla, garantizando una uniformidad consistente.
- Recomendaciones para mejorar la funcionalidad y la consistencia
- Para garantizar la trabajabilidad adecuada en concreto con puzolanas volcánicos, se recomienda:
- Emplee la puzolana finamente molido para mejorar la cohesión de la mezcla y reducir la segregación (Ibarcena, 2019).
- Controle la relación agua/cemento para evitar el agua excesiva que pueda socavar la resistencia y la durabilidad del concreto.
- Utilice superplastificantes para mejorar la fluidez al tiempo que preserva la integridad mecánica.
- Realice pruebas de establecimiento para evaluar la consistencia de la mezcla y ajustarla de acuerdo con las especificaciones del proyecto.

Evaluación concluyente

El reemplazo parcial del cemento de Portland con puzolanas volcánicas influye significativamente en la trabajabilidad y la consistencia del concreto. En cantidades moderadas (10%-20%), la trabajabilidad puede mantenerse o incluso aumentar debido a la mejor cohesión de la mezcla. Sin embargo, el aumento de los requisitos de agua podría mejorar la fluidez y la compactación del concreto. La optimización de la granulometría de la puzolana, ajustando la relación agua/cemento y la utilización de aditivos son estrategias críticas para garantizar que el concreto exhiba una trabajabilidad superior y una consistencia adecuada para fines de construcción. La evaluación experimental del concreto utilizando puzolanas volcánicas en la provincia de San Román permitirá la verificación de su idoneidad para la industria local, junto con sus efectos sobre la eficiencia y sostenibilidad de la construcción (Ibarcena, 2019).

2.2.4.4 Variación en la permeabilidad y durabilidad del concreto

La permeabilidad y la durabilidad del concreto son atributos críticos que determinan su rendimiento a largo plazo y resistencia a condiciones ambientales severas. La incorporación de las puzolanas volcánicas como reemplazo parcial para el cemento de Portland puede modificar significativamente estas propiedades, mejorando la compactación de la matriz de cemento y reduciendo la penetración de agua y productos químicos nocivos. La reacción puzolánica mejora la microestructura del concreto al reducir la conectividad de los poros y aumentar la resiliencia a la degradación química y física (López Y Melo, 2024).

Efecto sobre la permeabilidad del concreto

La permeabilidad del concreto es una característica vital que influye en su durabilidad, ya que determina la facilidad con la que los líquidos y los gases pueden infiltrarse en su estructura. La adición de puzolanas volcánicas reduce la permeabilidad del concreto mediante la producción de compuestos adicionales a través de la reacción

puzolánica, mejorando así la estructura de los poros y disminuyendo la conectividad (López Y Melo, 2024).

Los estudios demuestran que el concreto que incorpora la puzolana volcánica del 15% al 25% como reemplazo para el cemento de Portland es eficaz. Este efecto es especialmente importante en las estructuras expuestas a ambientes húmedos o corrosivos, como puentes, túneles y edificios costeros, donde la permeabilidad reducida aumenta la durabilidad del concreto (Ibarcena, 2019).

La permeabilidad reducida del concreto utilizando puzolanas volcánicas disminuye el riesgo de corrosión de refuerzo al limitar la entrada de oxígeno y humedad en la matriz de cemento. La disminución en la porosidad reduce la lixiviación del hidróxido de calcio, por lo tanto, minimiza el deterioro gradual del material y mejora su estabilidad química.

Impacto en la durabilidad del concreto

La durabilidad del concreto se refiere a su capacidad para mantener sus propiedades estructurales y funcionales con el tiempo, desafiando las presiones físicas, químicas y mecánicas. La inclusión de la puzolana volcánica en la mezcla de cemento mejora la durabilidad del concreto al disminuir la cantidad de hidróxido de calcio libre en la matriz, lo que reduce su susceptibilidad a la lixiviación e interacciones con productos químicos hostiles (López Y Melo, 2024).

Un beneficio clave para emplear puzolanas volcánicas en la durabilidad del concreto es su resistencia a la carbonatación y la agresión de sulfato. La carbonatación es un proceso en el que reacciona el dióxido de carbono con hidróxido de calcio en la pasta de cemento, lo que lleva a una reducción en el pH del concreto y aumenta la vulnerabilidad del acero de refuerzo a la corrosión. La reacción puzolánica emplea hidróxido de calcio, produciendo concreto con puzolanas volcánicas que demuestran menos susceptibilidad a este fenómeno, lo que mejora la durabilidad de las construcciones (Ibarcena, 2019).

La resistencia al sulfato es esencial en regiones expuestas a suelos o cuerpos de agua con altas concentraciones de estos compuestos. La reacción entre los sulfatos y los



aluminatos de cemento de Portland puede generar compuestos expansivos, como la ettringita tardía, lo que resulta en grietas y deterioro del concreto. La sustitución parcial del cemento con puzolanas volcánicas reduce la disponibilidad de aluminatos para la formación de ettringita, mejorando la resistencia del concreto al ataque de sulfato (López Y Melo, 2024).

Un factor crítico adicional en la longevidad es la tolerancia del concreto a los ciclos de congelación-descongelación. En ambientes fríos, la absorción de agua por concreto y su congelación posterior puede generar tensiones internas que conducen a grietas y resistencia reducida. La permeabilidad reducida del concreto, incluidos las puzolanas volcánicas, reduce la absorción de agua, por lo tanto, alivia el daño de los ciclos de congelación-descongelación y mejorando su rendimiento en situaciones extremas.

Factores que influyen en la permeabilidad y durabilidad

- El impacto de reemplazar parcialmente el cemento con puzolanas volcánicas en la permeabilidad y durabilidad del concreto depende de varios factores críticos, incluidos:
- Una relación de reemplazo del 15% al 25% mejora significativamente la impermeabilidad y la durabilidad del concreto al tiempo que preserva sus propiedades mecánicas (Ibarcena, 2019).
- El tamaño de partícula y la finura de Puzolana: Puzolanas más finas aumentan la reactividad y disminuyen de manera más eficiente la porosidad del concreto.
- Parámetros de curado: el curado adecuado es esencial para facilitar el desarrollo completo de la reacción puzolánica y mejorar la reducción de la permeabilidad (López Y Melo, 2024).
- La durabilidad del concreto contra agentes hostiles como sulfatos, cloruros y carbonatación depende de la mejora de su microestructura y la reducción de hidróxido de calcio libre dentro de la matriz de cemento.



- La relación agua a cemento: el manejo efectivo de la cantidad de agua en la mezcla es esencial para maximizar los beneficios de las puzolanas volcánicas en la reducción de la permeabilidad del concreto (Ibarcena, 2019).

Finales

El reemplazo del cemento de Portland con puzolanas volcánicas influye notablemente en la permeabilidad y durabilidad del concreto, mejorando su resistencia a la entrada de fluidos y sustancias corrosivas. Mejorar la microestructura de cemento y reducir la resiliencia del concreto de calcio libre a la resiliencia de la carbonatación, el ataque de sulfato y los ciclos de congelación-descongelación. Mejorar la relación de reemplazo y el control de las condiciones de curado son cruciales para obtener estos beneficios. La evaluación experimental del concreto, incluidos las puzolanas volcánicas en la provincia de San Román, permitirá la verificación de su aplicabilidad en la industria de la construcción y sus efectos sobre la sostenibilidad y la durabilidad de la infraestructura (López Y Melo, 2024).

2.2.4.5 Factores que influyen en el desempeño del concreto con puzolanas

La eficacia del concreto que contiene puzolana volcánico depende de varios elementos que influyen en su resistencia mecánica, trabajabilidad, durabilidad y otras características físicas y químicas. La interacción entre la puzolana y otros componentes concretos influye en su eficacia como ingrediente de cementación suplementaria. Los criterios clave incluyen la relación de sustitución de cemento, la finura de la puzolana, la relación agua-cemento, el método de curado y las condiciones ambientales durante la aplicación. Una evaluación precisa de estos elementos es crucial para mejorar la mezcla y garantizar que el concreto demuestre propiedades adecuadas para aplicaciones estructurales y no estructurales (Ibarcena, 2019).

Proporción de sustitución de cemento

La proporción de cemento de Portland sustituido con puzolanas volcánicas es un determinante crucial del rendimiento del concreto. Las sustituciones moderadas, que van del 10% al 25%, han demostrado la capacidad de mejorar la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto al facilitar el desarrollo de materiales cementosos adicionales a través de la reacción puzolánica. Cuando el porcentaje de reemplazo supera el 30%, el contenido de clinker disminuido en la mezcla puede comprometer la fuerza temprana del concreto, lo que restringe su uso en edificios que requieren un desarrollo de fuerza rápida (Mendez, 2024).

La relación de reemplazo ideal depende del tipo y la reactividad de la puzolana utilizado. La puzolana con una alta concentración de sílice amorfa es más exitosa para la sustitución del cemento, ya que interactúa rápidamente con hidróxido de calcio, produciendo compuestos cementosos adicionales que mejoran la matriz de cemento.

Granulación y distribución del tamaño de partícula de la puzolana (Mendez, 2024).

La calidad de la puzolana afecta directamente su reactividad y su capacidad para mejorar las cualidades del concreto. La puzolana finamente molida posee un aumento de la superficie específica, aumentando su reactividad con hidróxido de calcio y facilitando el desarrollo de una matriz cementosa densa y compacta. Las Puzolanas con partículas gruesas pueden exhibir una reactividad reducida, por lo tanto, afectando la trabajabilidad del concreto y elevar la demanda de agua en la combinación (Ibarcena, 2019).

El empleo de procedimientos de molienda mejorados puede mejorar la eficiencia de la puzolana volcánica al disminuir el tamaño de la partícula y mejorar la reactividad con la pasta de cemento. La investigación indica que las puzolanas con una finura comparable o superior a la del cemento de Portland muestran una mayor fuerza y durabilidad.

Relación agua a cemento

La relación agua/cemento (A/C) es un determinante vital de la resistencia y durabilidad del concreto, lo que requiere ajuste cuando se usa puzolana volcánica. El

aumento de los niveles de sustitución del cemento puede mejorar la demanda de agua debido a las características de porosidad y absorción de las partículas de puzolana, lo que afectó la trabajabilidad y la resistencia final del concreto (Mendez, 2024).

Para mitigar este efecto, es aconsejable utilizar productos químicos superplastificantes, lo que permite una reducción en el contenido de agua de la mezcla mientras mantiene su fluidez. La optimización de la relación agua/cemento es esencial para una hidratación adecuada de cemento y puzolana, mejorando así el desarrollo de productos cementosos y reduciendo la porosidad de la matriz de concreto (Ibarcena, 2019).

Especificaciones de curado

El uso de puzolanas volcánicas en el curado de concreto es crucial para mejorar su resistencia y durabilidad. La reacción puzolánica ocurre a una velocidad más lenta que la hidratación del cemento de Portland; Por lo tanto, el curado inadecuado puede afectar negativamente el desarrollo de la resistencia y la microestructura del material.

Un período de curado extendido y suficiente facilita la ejecución óptima de la reacción puzolánica, mejorando la reducción de la porosidad y mejora la cohesión de la matriz de cemento. Es aconsejable mantener el concreto en condiciones de humedad regulada durante un mínimo de 28 días para mejorar el desarrollo de agentes de cementación suplementarios y optimizar la compactación de la mezcla (López Y Melo, 2024).

Compatibilidad con aditivos

Los aditivos en concreto que contienen puzolanas volcánicas pueden afectar su rendimiento. Los superplastificantes y los reductores de agua mejoran la fluidez de la mezcla sin aumentar el contenido de agua, lo que mejora la trabajabilidad y la resistencia del concreto (Mendez, 2024).

La compatibilidad de los aditivos con Puzolanas es crucial, ya que ciertos aditivos pueden afectar la reacción puzolánica y alterar el tiempo de fijación e hidratación del



cemento de Portland. Es aconsejable realizar pruebas preliminares para evaluar la compatibilidad de aditivos con puzolanas volcánicas utilizados en la mezcla (López Y Melo, 2024).

Factores ambientales y exposición a productos químicos peligrosos

Los factores climáticos que influyen en el concreto que contiene puzolanas volcánicas también afectan su durabilidad con el tiempo. En condiciones húmedas o con niveles elevados de sulfatos y cloruros, la disminución de la permeabilidad del concreto resultante de la reacción puzolánica mejora su resistencia química y extiende su longevidad (Mendez, 2024).

La aplicación de puzolanas volcánicas en proyectos expuestos a condiciones extremas, incluidas bajas temperaturas y ciclos de congelación-descongelación, requiere una evaluación exhaustiva de su resistencia mecánica y durabilidad. En tales casos, es aconsejable emplear diseños óptimos mixtos y aditivos que mejoren la resistencia a circunstancias climáticas desfavorables (López Y Melo, 2024).

Evaluación definitiva

La eficacia del concreto, incluida las puzolanas volcánicas, está determinada por varios aspectos que afectan su fuerza, trabajabilidad y durabilidad. La relación de reemplazo, la finura de puzolana, la relación de cemento de agua, el proceso de curado y las condiciones ambientales son críticas para optimizar sus características. Un diseño de mezcla apropiado y la incorporación de aditivos pueden mejorar notablemente su eficacia en proyectos sometidos a condiciones extremas. La evaluación experimental de estos atributos en la región de San Román determinará la viabilidad de utilizar las puzolanas volcánicas en la construcción y su influencia en la calidad y sostenibilidad del concreto local (Collantes, 2017).

2.3 Marco conceptual

- a) **El cemento Portland.** - Es una sustancia hidráulica que consiste principalmente en clinker, yeso y aditivos minerales, que, al mezclar con agua, sufre una reacción química que resulta en una masa endurecida con características duraderas (ACI 318).
- b) **Puzolana.** - Es una sustancia siliciosa o aluminosilicato que, cuando se combina con agua e hidróxido de calcio generado durante la hidratación del cemento, genera compuestos cementados que mejoran la resistencia y la durabilidad del concreto (ASTM C618).
- c) **Puzolana de origen volcánico.** - Un tipo de puzolana natural producido por la actividad volcánica, que consiste principalmente en sílice reactiva y alúmina, utilizada como agente de cementación suplementaria en producción de concreto (López Y Melo, 2024).
- d) **Reacción puzolánica.** - Un proceso químico en el que la puzolana interactúa con hidróxido de calcio ($Ca(OH)_2$) producido durante la hidratación del cemento, produciendo compuestos como silicatos de calcio hidratados (C-S-S) que mejoran la durabilidad del concreto.
- e) **El concreto convencional.** - Consiste en una mezcla de cemento, agregados (gruesos y finos), agua y aditivos en cantidades predeterminadas, diseñadas para cumplir con los estándares de resistencia y durabilidad para usos estructurales y no estructurales (ACI 211).
- f) **El reemplazo de cemento parcial.** - Implica sustituir una porción de cemento de Portland con materiales de cementación suplementarios, como Puzolana, para mejorar las cualidades de concreto específicas y mitigar el impacto ambiental de su fabricación (López Y Melo, 2024).

- g) **Resistencia a la compresión.** - La capacidad del concreto para soportar las tensiones de compresión sin falla, cuantificada en megapascales (MPa) o kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2), y evaluado a través de pruebas en especímenes cilíndricos estandarizados (ASTM C39).
- h) **Resistencia a la flexión.** - Una propiedad mecánica del concreto que cuantifica su capacidad para soportar tensiones de tracción indirectas cuando se expone a cargas de flexión, evaluada utilizando pruebas de haz de concreto (ASTM C78).
- i) **La trabajabilidad de concreto.** - Se refiere a la facilidad con la que se puede manipular, colocar una nueva mezcla de concreto sin segregación o pérdida de homogeneidad, determinada por el contenido de agua y la granulometría de los ingredientes (ASTM C143).
- j) **La durabilidad del concreto.** - Se refiere a su capacidad para resistir las influencias ambientales y químicas con el tiempo sin degradación sustancial, que se ve afectada por características como la permeabilidad, la absorción y la calidad de los materiales constituyentes (ACI 201).
- k) **Permeabilidad de concreto.** - Una característica que dicta la facilidad de la infiltración de agua y fluido a través del concreto endurecido, directamente vinculado a su durabilidad y resistencia a los agentes perjudiciales.
- l) **Regulaciones ASTM C618.** - Especificación estándar para puzolanas utilizados como aditivos especializados, delineo de criterios químicos y físicos para la aplicación en el sector de la construcción (ASTM).
- m) **La sostenibilidad en la construcción.** - Se refiere a estrategias diseñadas para mitigar el impacto ambiental de la industria de la construcción al emplear materiales alternativos, reciclar recursos y optimizar el uso de energía en la fabricación de materiales.



CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología de la investigación se refiere al conjunto de métodos y técnicas sistemáticas que se emplean para abordar el estudio de un fenómeno o problema determinado, con el fin de alcanzar los objetivos definidos. Esta metodología incluye el desarrollo de un plan detallado para la recolección y el análisis de datos, asegurando que el estudio sea coherente, confiable y validado. Abarca decisiones sobre el enfoque de investigación, el tipo de investigación a seguir, el diseño del estudio, las estrategias de recolección de información y los métodos para procesar los resultados. Utilizando una metodología estructurada, el investigador garantiza que los hallazgos sean precisos y que el proceso sea replicable por otros estudios similares.

En este caso, la metodología adoptada sigue un enfoque cuantitativo, ya que busca medir de manera precisa las propiedades del concreto con diferentes porcentajes de puzolana volcánica. Se aplicará un diseño experimental, con un nivel descriptivo, para observar y registrar las características del concreto sin modificar el proceso natural. El análisis de los datos se hará utilizando herramientas estadísticas que permitan interpretar los resultados de manera objetiva, asegurando que las conclusiones del estudio sean robustas y respaldadas por pruebas claras. Además, se utilizarán métodos de recolección



de datos, como ensayos de resistencia y durabilidad, los cuales se llevarán a cabo bajo condiciones controladas para obtener resultados confiables y válidos.

3.1 Enfoque de investigación

Este enfoque permite obtener datos numéricos sobre las propiedades mecánicas, térmicas y de durabilidad del concreto, proporcionando información precisa y verificable que puede ser comparada y analizada estadísticamente. El enfoque cuantitativo es ideal para evaluar las variaciones en el rendimiento del concreto al ser sometido a pruebas específicas, como la resistencia a compresión, la absorción de agua y otros parámetros relevantes, garantizando resultados más consistentes y fundamentados en mediciones exactas (Barboza et al., 2021).

Este estudio llevó el enfoque cuantitativo debido a su naturaleza analítica y a la necesidad de obtener resultados numéricos precisos sobre las propiedades del concreto producido con diferentes porcentajes de puzolana volcánica. Las pruebas se realizaron en condiciones controladas para medir variables específicas como la resistencia a la compresión y la durabilidad del concreto. Al utilizar el enfoque cuantitativo, se buscó obtener datos claros y comparables que permitieran establecer relaciones entre el porcentaje de puzolana reemplazante y las características del concreto, lo que facilitó la evaluación objetiva de su viabilidad y rendimiento en aplicaciones reales. Este enfoque no solo proporcionó cifras exactas, sino que también permitió aplicar análisis estadísticos que validaron las hipótesis planteadas.

3.2 Tipo de investigación

La clasificación de la investigación se relaciona con las características del estudio y puede ser experimental, no experimental, cualitativo o cuantitativo. En un estudio experimental, las variables se manipulan para evaluar su efecto en un fenómeno específico; En un estudio no experimental, las variables se analizan sin la participación



directa del investigador. La investigación cualitativa examina los fenómenos subjetivos a través de enfoques interpretativos, mientras que la investigación cuantitativa usa medidas numéricas y análisis estadísticos para lograr resultados objetivos (Barboza et al., 2021).

La investigación fue de tipo aplicada, ya que las proporciones de cemento sustituidas con puzolana volcánica se alteraron regularmente para evaluar su efecto sobre el concreto. Un diseño utilizó grupos experimentales expuestos a diferentes condiciones de mezcla, curado y pruebas, lo que permitió comparaciones con un grupo de control. Esta metodología garantizó una evaluación objetiva de los cambios en la resistencia, la durabilidad y la trabajabilidad del concreto, por lo tanto, justificó los resultados obtenidos.

3.3 Nivel de investigación

El objetivo es lograr una comprensión exhaustiva del problema sin establecer relaciones causales; Las características del problema se describen ampliamente; Las interconexiones entre las variables se evalúan a nivel correlacional; La causalidad se determina a través de análisis experimentales y estadísticos (Barboza et al., 2021).

La investigación fue explicativa, ya que buscó descubrir y cuantificar el impacto de la puzolana volcánica en las propiedades físicas y mecánicas del concreto. El análisis estadístico y comparativo determinó los enlaces de causa-efecto entre las variables estudiadas, proporcionando una base científica para la influencia del material puzolánico en el rendimiento del concreto. Además, las investigaciones de laboratorio se incorporaron para corroborar las ideas propuestas y formular modelos predictivos sobre el comportamiento del concreto alterado.

3.4 Diseño de la investigación

El diseño de la investigación es el marco metodológico que guía el estudio, que describe los procedimientos para la recopilación y análisis de datos para cumplir con los objetivos definidos. El diseño puede ser experimental o no experimental, cualitativo o



cuantitativo, dependiendo del enfoque seleccionado y el nivel de control sobre las variables de estudio. Un diseño de investigación efectivo garantiza la validez y confiabilidad de los resultados, lo que permite la replicabilidad del estudio en muchas situaciones (Barboza et al., 2021).

La metodología de investigación utilizó un diseño experimental para evaluar los efectos de reemplazar parcialmente el cemento con puzolana volcánica en las propiedades del concreto. Se ejecutó un diseño experimental, incorporando un grupo de control y grupos experimentales con diferentes proporciones de sustitución de puzolana volcánica. La investigación se realizó en condiciones de laboratorio controladas, empleando procesos especificados para la producción, curado y prueba de muestras de concreto, lo que garantizó la validez interna y la replicabilidad de los resultados.

3.5 Método de la investigación

El método de investigación se refiere a los procedimientos sistemáticos utilizados para obtener, evaluar y analizar datos sobre el tema del estudio. Hay numerosos enfoques de investigación disponibles, como inductivos, deductivos, experimentales y correlacionales, cada uno caracterizado por características únicas diseñadas para abordar varias preguntas científicas. La elección de la técnica depende del diseño de la investigación y los objetivos definidos, garantizando un enfoque metódico basado en principios científicos (Arias et al., 2016).

La metodología de investigación utilizó un método científico con un marco lógico, que se basó en supuestos teóricos establecidos sobre el impacto de las puzolanas en el concreto, los cuales se corroboraron a través de pruebas de laboratorio. En el que las muestras que contenían diferentes cantidades de puzolana volcánica estuvieron sujetas a pruebas mecánicas y de durabilidad, lo que permitió el examen de las variaciones conductuales. Este método científico facilitó la determinación precisa de la relación causal entre la inclusión de la puzolana y las propiedades del concreto.

3.6 Población y muestra de la investigación

3.6.1 Población

La población en un estudio denota toda la colección de individuos, artículos o eventos que poseen atributos compartidos, de los cuales se extrae una muestra para el análisis. La población de estudio puede ser finita o infinita, y la definición precisa es esencial para la validez de los hallazgos. Elegir una población adecuada garantiza que los hallazgos son representativos y relevantes para el contexto del estudio, lo que reduce los sesgos potenciales en la investigación (Arias et al., 2016).

La población de la investigación está conformada por todas las combinaciones posibles de mezclas de concreto estándar en las que se reemplaza parcialmente el cemento con puzolana volcánica en proporciones del 8%, 16% y 24%. Estas variaciones permiten analizar cómo influye cada porcentaje en las propiedades del concreto, manteniendo constante el resto de los componentes de la mezcla. Se consideran concreto diseñado para aplicaciones estructurales y no estructurales, incorporando varios porcentajes de reemplazo de cemento. Además, se incluyen regulaciones y estándares nacionales e internacionales para el uso de materiales puzolánicos en la construcción, afirmando así la importancia y aplicabilidad de los hallazgos en contextos del mundo real.

Figura 1

Lugar de ubicación del estudio



Nota. Recopilado de Google

3.6.2 Muestra

La muestra es un segmento representativo de la población, seleccionado por técnicas probabilísticas o no probabilistas para el análisis de investigación (Creswell, 2020). El tamaño de la muestra se establece en función de los criterios estadísticos para garantizar que los resultados sean pertinentes para la población de investigación. Un diseño de muestreo efectivo minimiza los errores y mejora la precisión de los resultados, por lo tanto, permite hallazgos validados científicamente (Arias et al., 2016).

El estudio consiste en muestras de concreto cilíndrica producidas en el laboratorio, utilizando diferentes proporciones de puzolana volcánica como reemplazo parcial para el cemento. Se utiliza una muestra probabilística aleatoria simple para garantizar la representatividad de cada combinación de mezcla. El número de muestras está determinado por los requisitos de prueba especificados en los estándares técnicos, asegurando que los resultados sean estadísticamente significativos y permitan conclusiones sobre el rendimiento de concreto en aplicaciones reales.

Tabla 2

Cantidad de unidades analizadas

Ensayos	Concreto estándar	Suma de puzolana volcánica 8%	Suma de puzolana volcánica 16%	Suma de puzolana volcánica 24%	Total
Trabajabilidad	5	5	5	5	20
Resistencia a la compresión	15	15	15	15	60
Resistencia a la flexión	15	15	15	15	60
	35	35	35	35	140

La tabla ilustra la distribución de la muestra empleada para evaluar el rendimiento del concreto con diferentes cantidades de puzolana volcánica a lo largo de varias pruebas. Se analizan cuatro configuraciones de mezcla: un concreto de referencia y tres variaciones con 8%, 16% y 24% de sustituciones de puzolana volcánica. Se han realizado tres categorías de ensayos: trabajabilidad, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.



Cada categoría incluía cinco muestras para la evaluación de la trabajabilidad y quince muestras para pruebas de compresión y flexión entre las cuatro formulaciones. Se han generado un total de 140 especímenes, asignados uniformemente entre las diferentes combinaciones analizadas, lo que permite una evaluación sistemática del rendimiento concreto en relación con la extensión de la sustitución del cemento por la pozolana volcánica.

3.7 Técnicas e instrumentos

3.7.1 Técnicas

Las metodologías de investigación son enfoques sistemáticos y estructurados utilizados para la recopilación, análisis e interpretación de datos en un estudio. Estos enfoques producen datos precisos y confiables sobre las variables bajo examen, por lo que facilitar la confirmación de hipótesis y el logro de los objetivos de investigación. Los enfoques de investigación pueden clasificarse como cuantitativos, que dependen de datos numéricos y evaluación estadística, o cualitativa, que buscan comprender los fenómenos a través de observaciones, entrevistas o análisis de documentos.

Metodologías de investigación utilizadas

- Prueba de laboratorio (asentamiento del cono ABRAMS): Esta prueba se utiliza para evaluar la trabajabilidad y viscosidad del concreto fresco, lo cual es crucial para determinar la facilidad con la que la mezcla puede ser manipulada, vertida y colocada en las estructuras. De acuerdo con el estándar ASTM C143, la medición del asentamiento del concreto se realiza mediante el cono de Abrams, el cual es colocado sobre una superficie plana y se llena con la mezcla de concreto. Tras retirar el cono, se mide la cantidad de asentamiento, es decir, el desplazamiento vertical del concreto, lo que indica su fluidez o rigidez. Esta prueba proporciona información importante sobre la relación agua-cemento y la dosificación de los materiales, lo cual tiene un impacto directo en la calidad y durabilidad del concreto una vez curado.

- Prueba de resistencia a la compresión: Este ensayo es fundamental para evaluar la capacidad del concreto para resistir las cargas axiales, que son las fuerzas directas que actúan en la dirección del eje de la pieza. De acuerdo con la norma ASTM C39, se somete una muestra cilíndrica de concreto a cargas de compresión hasta que falle, y la resistencia máxima alcanzada antes de la fractura se registra como la resistencia a la compresión. Este parámetro es uno de los más importantes en la ingeniería de materiales, ya que determina la aptitud del concreto para soportar estructuras sometidas a esfuerzos de compresión, como columnas, muros y losas.

Figura 2

Ensayo resistencia a la compresión



Figura 3

Curado de muestras



- Prueba de resistencia a la flexión: Esta prueba mide la capacidad del concreto para resistir las presiones indirectas de tracción, es decir, aquellas fuerzas que tienden a doblar o flexionar el concreto. Según el estándar ASTM C78, las muestras de concreto se someten a una carga aplicada en el centro de una viga de concreto simplemente apoyada en ambos extremos. La resistencia a la flexión se calcula en función del momento máximo alcanzado antes de la fractura. Esta prueba es esencial para evaluar la performance del concreto en aplicaciones estructurales donde se esperan esfuerzos de flexión, como en vigas y pavimentos.
- Análisis estadístico: En el estudio experimental, se emplean métodos estadísticos descriptivos e inferenciales para analizar los resultados obtenidos de los ensayos realizados. Los métodos descriptivos incluyen el cálculo de promedios, desviaciones estándar y otros indicadores que ayudan a caracterizar los datos. Los métodos inferenciales, por otro lado, permiten hacer generalizaciones y establecer conclusiones



sobre el comportamiento del concreto bajo diferentes condiciones experimentales, utilizando pruebas de hipótesis. El análisis estadístico proporciona una base sólida para interpretar los efectos de la puzolana volcánica en las propiedades del concreto, permitiendo la comparación entre diferentes formulaciones de mezcla.

- **Observación sistemática:** Esta técnica se emplea para documentar de manera detallada los atributos y acciones específicas que ocurren durante las distintas fases de los ensayos. Implica un registro meticuloso de los procedimientos de preparación de las muestras, las condiciones de los ensayos, los tiempos de fraguado y otros aspectos del proceso experimental. Esta observación permite identificar patrones, inconsistencias o elementos que podrían influir en la fiabilidad y reproducibilidad de los resultados. Además, proporciona información cualitativa complementaria que puede ser útil para interpretar las variaciones en los resultados y mejorar la precisión de las mediciones.
- **Revisión documental:** Este proceso consiste en un análisis exhaustivo de regulaciones, estudios previos y literatura académica que abordan el uso de puzolanas volcánicas en la fabricación de concreto. La revisión incluye normas técnicas, investigaciones previas sobre los efectos de las puzolanas en las propiedades del concreto y casos de estudio que hayan utilizado este material en diferentes contextos de construcción. El objetivo de la revisión documental es contextualizar el estudio dentro del estado actual del conocimiento, identificar brechas en la investigación existente y proporcionar un marco teórico que respalde la hipótesis y metodología del estudio. Este enfoque también permite conocer las mejores prácticas y avances tecnológicos en el uso de materiales alternativos para la fabricación de concreto más sostenible.

3.7.2 Instrumentos de recolección de datos investigación

Los instrumentos de recopilación de datos son herramientas diseñadas para obtener información precisa, estructurada y confiable en un estudio. Estos permiten la cuantificación de factores relevantes, la grabación de observaciones y la recopilación de



datos que respalda el examen de los fenómenos que se están estudiando. La selección de instrumentos depende del marco metodológico de la investigación, con instrumentos cuantitativos que producen datos numéricos a través de mediciones e instrumentos cualitativos que recopilan información a través de observaciones, entrevistas o documentos.

En la investigación experimental, las herramientas utilizadas deben garantizar la precisión y repetibilidad de los datos obtenidos. Las investigaciones de los materiales de construcción, incluido el concreto con reemplazo de cemento parcial por puzolanas volcánicas, requieren aparatos de laboratorio e instrumentos competentes en el análisis de propiedades físicas y mecánicas de acuerdo con los criterios establecidos. Estos dispositivos aseguran la ejecución de pruebas uniformes, habilitando la comparación de datos y la formulación de conclusiones válidas sobre el rendimiento del material.

El aparato de medición, junto con la documentación de datos en hojas técnicas, hojas de cálculo y software estadístico, facilita el procesamiento y el análisis de la información recopilada. El empleo de estos instrumentos garantiza la trazabilidad de los datos y minimiza los errores en la interpretación de resultados. La combinación de mediciones directas y enfoques analíticos permite la recopilación precisa de datos sobre los efectos de la puzolana volcánica en las propiedades concretas.

Herramientas de investigación

- **Diseño de mezclas:** El diseño de mezclas se refiere al proceso de seleccionar y combinar materiales en proporciones específicas para obtener una mezcla que cumpla con los requisitos técnicos y funcionales para una aplicación determinada. En el contexto de la construcción, el diseño de mezclas se aplica especialmente al concreto, donde se eligen los tipos y cantidades de agregados, cemento, agua y aditivos para lograr características como la resistencia, durabilidad y trabajabilidad adecuadas según las necesidades del proyecto.

Figura 4

Elaborando las muestras



- El cono Abrams es un aparato empleado para evaluar la trabajabilidad y la consistencia de concreto fresco utilizando la prueba de asentamiento de acuerdo con ASTM C143.
- Máquina de compresión: dispositivo empleado para evaluar la resistencia a la compresión de las muestras de concreto de conformidad con el estándar ASTM C39.
- Máquina de flexión: dispositivo empleado para evaluar la resistencia a la flexión del concreto de acuerdo con ASTM C78.
- Hojas de control de calidad: documentos empleados para el registro metódico de los resultados de cada investigación.
- Software estadístico (SPSS, Excel, R): herramientas para procesar y analizar datos experimentales, mejorando la interpretación de resultados.
- Las cámaras de cura son instrumentos que garantizan la preservación adecuada de las muestras en condiciones controladas de temperatura y humedad.
- Calibradores y escalas digitales: instrumentos para cuantificar las dimensiones y pesos de ejemplos concretos precisos.



3.8 Validación y confiabilidad del instrumento

3.8.1 Validación de los instrumentos

La validación de instrumentos de investigación implica evaluar la precisión, confiabilidad y pertinencia de las metodologías y equipos empleados para la recopilación de datos. Esta metodología es crucial para garantizar que los instrumentos evalúen con precisión las variables que se estudian y producen resultados consistentes y reproducibles. La validación se realiza a través de evaluaciones de validez de contenido, validez de criterios y validez de construcción, asegurando que el instrumento se alinee con los objetivos de investigación y sea adecuado para medir los fenómenos bajo investigación.

En investigaciones experimentales, como los estudios sobre el rendimiento concreto con sustitución parcial de cemento por las puzolanas volcánicas, la validación de instrumentos de medición se logra mediante evaluaciones de calibración y repetibilidad, lo que garantiza que el equipo utilizado en los experimentos produce mediciones precisas y reproducibles. La calibración del aparato de laboratorio, incluida la máquina de compresión y el cono Abrams, es crucial para reducir los errores sistemáticos y garantizar la confiabilidad de los resultados.

Además, la validación puede abarcar pruebas piloto o ensayos preliminares, en el que los instrumentos se utilizan en una muestra limitada para evaluar su efectividad antes de la recopilación de datos final. Estas pruebas facilitan la identificación de posibles errores de medición y permiten modificaciones de procedimiento, lo que mejora la precisión y el control de la investigación. La triangulación de datos, lograda al comparar datos de varios métodos analíticos, sirve como una técnica para validar la confiabilidad de los instrumentos empleados.



Normativas:

- **ASTM C143 - "Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete"**

Esta norma establece el procedimiento para medir la trabajabilidad del concreto mediante la prueba de asentamiento del cono de Abrams, que evalúa la fluidez del concreto fresco.

- **ASTM C39 - "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens"**

Define el procedimiento para la prueba de resistencia a compresión, que evalúa la capacidad del concreto para resistir cargas axiales, fundamental para evaluar las propiedades mecánicas del concreto con puzolana.

- **ASTM C78 - "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete"**

Esta norma establece el procedimiento para la prueba de resistencia a la flexión, utilizada para evaluar la capacidad del concreto para resistir esfuerzos de tracción indirecta.

- **ASTM C114 - "Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement"**

Se utiliza para la determinación química de los componentes del cemento, lo que puede ser útil para analizar la composición del cemento y la puzolana, y entender sus interacciones en la mezcla.

Métodos para corroborar la investigación

- La calibración del equipo de prueba implica la evaluación y verificación de la precisión de los instrumentos de medición, incluida la máquina de compresión y el cono Abrams.
- Prueba de repetibilidad: evaluaciones realizadas en entornos controlados para determinar la confiabilidad de los datos adquiridos a partir de mediciones consecutivas.
- Ejecución de pruebas piloto: evaluaciones iniciales con una muestra limitada para identificar fallas en la recopilación de datos y mejorar las metodologías.

- Validez del contenido: evaluación de la idoneidad de los instrumentos para los objetivos del estudio y los criterios relevantes.
- La triangulación de datos implica la comparación de resultados derivados de muchos métodos de medición y análisis estadísticos.
- Supervisión del proceso: garantía de calidad en la implementación de evaluaciones experimentales para mitigar los sesgos y las inexactitudes de medición.

3.8.2 Confiabilidad de instrumentos

La confiabilidad del equipo de investigación indica el grado en que produce resultados consistentes y reproducibles en diferentes mediciones y entornos comparables. Un instrumento efectivo minimiza la variabilidad de los datos resultante de los errores de medición, lo que garantiza la precisión y consistencia de los resultados obtenidos. La fiabilidad es esencial en la investigación experimental, ya que las mediciones deben reflejar con precisión los atributos del fenómeno que se está estudiando, evitando así las inconsistencias que podrían comprometer la validez del análisis.

Se utilizan varios métodos estadísticos y de procedimiento para evaluar la confiabilidad de los instrumentos, incluidas las pruebas de consistencia interna, el análisis de prueba-retratación y la evaluación de estabilidad temporal. La investigación sobre materiales de construcción, como el concreto con cemento reemplazado por puzolanas volcánicas, garantiza la confiabilidad a través de la repetibilidad de las pruebas, la calibración del equipo y el control de calidad en la aplicación de medición.

La calibración consistente de los dispositivos de medición, incluidas las máquinas de compresión y flexión, los conos de Abrams y las escalas digitales, es crucial para mantener la precisión de los resultados experimentales. Además, realizar numerosas pruebas en entornos controlados permite la validación de la consistencia de la medición y la rectificación de posibles errores sistemáticos. La manipulación rigurosa de las condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad, mejora la confiabilidad de

los resultados experimentales al mitigar las variaciones que podrían afectar la interpretación de datos.

Métodos para garantizar la confiabilidad en la investigación

- Repetibilidad de la prueba: la ejecución de muchas mediciones en muestras idénticas para evaluar la consistencia de los resultados.
- Calibración del aparato de laboratorio: ajuste sistemático y validación de instrumentos de prueba para garantizar mediciones precisas.
- Prueba de consistencia interna: un método estadístico para evaluar la coherencia de los datos recopilados en múltiples ensayos.
- Test -ReprueBa: un análisis comparativo de los hallazgos obtenidos en diferentes períodos para evaluar su consistencia temporal.
- Supervisión del procedimiento experimental: regulación y estandarización de técnicas de prueba para reducir las inexactitudes de medición.
- Evaluación de las variables ambientales: temperatura y humedad de seguimiento durante la prueba para minimizar la variabilidad de los datos.

3.9 Plan de recolección y procesamiento de datos

3.9.1 Desarrollo de plan de investigación

✿ Búsqueda de información

La búsqueda de información es esencial para la investigación, ya que permite la recopilación de evidencia teórica y experimental relevante para comprender los impactos de los materiales utilizados en la construcción. Se emplean una variedad de fuentes informativas, que incluyen literatura especializada, artículos científicos, estándares técnicos y registros institucionales, que proporcionan una base sólida para el avance del estudio. La selección de información debe ejecutarse críticamente, priorizando fuentes contemporáneas y validadas que apoyen el tema del estudio y la formulación de hipótesis.

Este enfoque requiere el uso de bases de datos especializadas y herramientas bibliográficas que ayuden en la recolección y organización de los recursos reconocidos. Además, es imperativo emplear estrategias de búsqueda eficientes, que abarquen el uso de palabras clave específicas, categorización temática y evaluación de la confiabilidad de la fuente. La interpretación y el análisis precisos de los datos recopilados permiten la estructuración del marco teórico y metodológico del estudio, garantizando que la investigación se basa en hechos y principios científicos pertinentes.

❁ **Materiales implementados al concreto**

Puzolana de origen volcánico:

La puzolana volcánica, proveniente de fuentes volcánicas, contiene minerales ricos en sílice y alúmina, que interactúan con el hidróxido de calcio presente en el cemento cuando se añaden en presencia de agua. Esta interacción da lugar a la formación de compuestos cementosos secundarios que mejoran significativamente tanto la resistencia como la durabilidad del concreto. Los minerales reactivos presentes en la puzolana provienen de la rápida solidificación de las emisiones de lava y cenizas durante las erupciones volcánicas, lo que forma depósitos ricos en compuestos como sílice (SiO_2) y alúmina (Al_2O_3), esenciales para la reactividad puzolánica. La inclusión de puzolana en la mezcla de concreto ofrece varios beneficios, como la reducción de la permeabilidad, el aumento de la resistencia a los agentes agresivos y la disminución del uso de cemento Portland, lo que contribuye a la sostenibilidad de la industria de la construcción al disminuir el impacto ambiental asociado con la producción de cemento.

Este estudio se centró en la obtención de puzolana volcánica de los depósitos naturales de material volcánico ubicados en la región Arequipa, específicamente cerca del volcán Misti y en las zonas geotérmicas de dicha región. Estos lugares son reconocidos por su rica actividad volcánica reciente, que ha generado depósitos abundantes de cenizas volcánicas, tobas y escorias, materiales con una composición mineralógica favorable para su uso en la industria de la construcción. La elección de estos depósitos se basó en su alta

disponibilidad, fácil acceso y contenido adecuado de sílice y alúmina, componentes esenciales para asegurar una reactividad adecuada en la mezcla de concreto.

Figura 5

Puzolana volcánica muestra en laboratorio



El proceso de obtención de la puzolana comenzó con la extracción de los materiales volcánicos directamente de los depósitos naturales. Se recogieron cenizas volcánicas, tobas y escorias de erupciones piroclásticas, los cuales se identificaron como los mejores materiales puzolánicos debido a su granulometría y composición mineralógica. El primer paso del proceso consistió en un secado inicial, realizado a una temperatura controlada de aproximadamente 60°C a 70°C durante un período de 12 a 24 horas. Este proceso permitió eliminar la humedad del material, facilitando su manejo y posterior procesamiento. Tras el secado, el material se sometió a una trituración inicial para reducir su tamaño, utilizando una trituradora de mandíbulas para obtener una granulometría gruesa. Esta trituración permitió romper los grandes bloques de material volcánico en partículas más pequeñas, facilitando el proceso de molienda.

Posteriormente, se realizó una molienda fina del material triturado utilizando un molino de bolas, lo que permitió alcanzar una granulometría de partículas de 90 μm . Este tamaño de partícula es esencial para mejorar la reactividad de la puzolana en la mezcla de cemento, ya que una mayor finura favorece la superficie de contacto entre el cemento y la

puzolana, lo que incrementa la formación de compuestos cementosos. Después de la molienda, el material fue tamizado utilizando un tamiz de malla 90 μm , para asegurar que las partículas alcanzaran la finura adecuada y cumplieran con las especificaciones del diseño de mezcla. Por su parte, Rahhal *et al.* (2014) indica que, la puzolana contiene un alto porcentaje de sílice y alúmina, confirmando su idoneidad para mejorar las propiedades del concreto.

Una vez verificados los análisis, la puzolana fue integrada en las proporciones adecuadas dentro del diseño de mezcla de concreto. Se respetaron las proporciones especificadas para garantizar que el material se dispersara de manera uniforme en la mezcla, lo que permitió mejorar las características mecánicas y de durabilidad del concreto, con un enfoque particular en la resistencia a compresión y la permeabilidad. Este proceso detallado asegura que la puzolana utilizada no solo cumpla con los estándares técnicos, sino que también mejore el desempeño del concreto, contribuyendo a la sostenibilidad en la construcción al reducir el uso de cemento Portland.

Figura 6

Puzolana volcánica



3.9.2 Etapa de campo

a. Recolección de muestras

La recolección de muestras es una operación crucial en la investigación experimental, que facilita la adquisición de materiales representativos para el examen y la evaluación. Esta técnica debe cumplir con los estándares especificados que garantizan la calidad, consistencia y trazabilidad de las muestras, por lo tanto, evitan la contaminación o las discrepancias que podrían comprometer los resultados. En la investigación de materiales de construcción, el muestreo prioriza la recolección de materiales en su estado natural, sucedido por un procesamiento y almacenamiento inicial óptimos antes de la evaluación experimental.

El estudio se centró en la obtención de puzolana volcánica de los depósitos naturales de material volcánico ubicados en la región Arequipa, específicamente cerca del volcán Misti y en las zonas geotérmicas de dicha región. La elección de estas ubicaciones se basa en su ventajosa composición mineral y accesibilidad para actividades de investigación. El proceso de recolección comenzó con la identificación de zonas que contienen concentraciones elevadas de material puzolánico, sucedido por la extracción manual o mecánica de muestras representativas para garantizar su homogeneidad y ausencia de contaminantes.

Figura 7

Muestras recabadas para granulometría





Después de la extracción, las muestras se transmitieron en condiciones reguladas para evitar cualquier modificación. A partir de ese momento, se sometieron a preparación en el laboratorio, que incluyó el secado para eliminar la humedad residual, la trituración para reducir el tamaño de partícula y la rectificación para lograr una granulometría ideal. Se realizó una investigación química y mineralógica para caracterizar la composición de la puzolana y evaluar su reactividad antes de su integración en mezclas de concreto. Estas medidas garantizaron que las muestras reunidas fueran representativas y suficientes para evaluar su influencia en las características del concreto.

El proceso de acopio y traslado de la puzolana volcánica comenzó con la recolección cuidadosa del material en los alrededores del volcán Misty. Tras la extracción inicial, el material fue clasificado por granulometría, asegurando que solo la fracción más fina y activa fuera seleccionada para los ensayos. Para el acopio, se utilizó un área cercana a la zona de recolección donde se almacenaron los sacos de puzolana en condiciones que evitaban la humedad y contaminación, facilitando su posterior manejo.

El traslado hacia la ciudad de Juliaca, donde se encuentran los laboratorios de la Universidad Andina, se realizó en una camioneta acondicionada para la carga. En esta ocasión, se transportaron dos sacos de puzolana, cada uno con un peso aproximado de 50 kg, lo que aseguraba una cantidad representativa del material para los análisis que se realizarían en el laboratorio. A lo largo del recorrido de aproximadamente 200 km, se tomaron precauciones para asegurar que los sacos no sufrieran daños ni perdieran material durante el trayecto. Se protegieron con lonas impermeables para resguardarlos de la humedad externa y garantizar que llegaran en las mejores condiciones posibles. Al llegar a la ciudad de Juliaca, los sacos fueron descargados y almacenados en el laboratorio de suelos de la UANCV, donde se realizarían los análisis pertinentes para evaluar las propiedades del concreto con el reemplazo parcial de cemento por puzolana de origen volcánico.



3.9.3 *Etapa de laboratorio*

La fase de laboratorio fue un elemento esencial de la investigación experimental, que permitió la evaluación sistemática de los materiales y sus respuestas en condiciones diversas. En esta fase, se realizaron pruebas particulares para garantizar la validez y confiabilidad de los resultados, lo que confirmó que los materiales cumplieran con los requisitos establecidos. Esta fase implicó la realización de experimentos físicos, químicos y mecánicos para identificar los componentes y evaluar su eficacia en mezclas cementicias, como parte de la investigación centrada en mejorar las propiedades del concreto.

Este estudio se ejecutó en varias fases durante la fase de laboratorio. La puzolana volcánica se analizó primero para su composición química y mineralógica mediante procedimientos que incluyeron difracción de rayos X (XRD) y fluorescencia de rayos X (XRF), que determinaron su contenido de sílice y alúmina (Rahhal et al., 2014). Posteriormente, se realizaron evaluaciones de granulometría y finura para verificar que la puzolana tratada tuviera un tamaño de partícula adecuado para la reactividad en la mezcla cementosa. Las mezclas de concreto se formularon con diferentes proporciones de cemento reemplazadas por puzolana, que se sometieron a evaluaciones de trabajabilidad, pruebas de resistencia a la compresión y evaluaciones de resistencia a la flexión, conforme a estándares técnicos como ASTM C143, ASTM C39 y ASTM C78.

Para garantizar la calidad de los resultados, se implementaron controles en la preparación de muestras, que abarcaban el curado bajo condiciones óptimas de temperatura y humedad. Además, se utilizaron herramientas calibradas y protocolos establecidos en cada evaluación, asegurando la reproducibilidad de las pruebas. Los datos recopilados se sometieron a un análisis estadístico para discernir tendencias y formular conclusiones sobre la influencia de la puzolana volcánica en las propiedades del concreto. Esta fase evaluó la viabilidad de emplear estos materiales en la industria de la construcción y su potencial como sustituto sostenible para mejorar el concreto convencional.

i. **Ensayo de contenido de humedad**

Cálculo:

$$W(\%) = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

La prueba de contenido de humedad fue un procedimiento crucial en la caracterización del material, ya que midió el agua presente en una muestra en su estado natural. Este ensayo resultó fundamental para los materiales de cemento y agregados, ya que la humedad influye en la reactividad química y la trabajabilidad de la mezcla de concreto. La evaluación precisa del contenido de humedad aseguró una dosis adecuada de componentes en la mezcla, evitando así las variaciones en la resistencia del concreto.

Figura 8*Secado de muestras*

Esta investigación realizó un análisis de contenido de humedad sobre muestras de puzolana volcánica obtenidas de depósitos naturales en la región de Puno, verificando que su inclusión en el concreto no alterara el porcentaje de agua indicado en el diseño combinado. El procedimiento siguió el método de secado del horno según ASTM C566, en el que se pesó una muestra representativa antes y después de secar a 110 ± 5 °C hasta alcanzar un peso estable. La diferencia de peso facilitó la determinación del contenido de humedad en la muestra.

Este ensayo aseguró que la puzolana utilizada en las mezclas de cemento mantuviera un nivel de humedad controlado, lo que limitó los efectos adversos sobre la



hidratación del cemento y la reactividad puzolánica. Además, los hallazgos guiaron el ajuste del contenido de agua en la mezcla de concreto, garantizando la trabajabilidad óptima y las cualidades mecánicas durante las evaluaciones experimentales.

ii. Análisis granulométrico

El análisis granulométrico fue esencial para definir los materiales utilizados en la fabricación de concreto, ya que permitió la evaluación de la distribución del tamaño de partículas en una sustancia sólida. Este experimento fue fundamental para evaluar la calidad de la puzolana volcánica y confirmar que su incorporación a la mezcla de cemento mejorara la reactividad de la puzolánica. La distribución óptima del tamaño de partícula influyó directamente en la trabajabilidad, la compactación y la resistencia del concreto, lo que hizo que su regulación fuera un factor vital en el rendimiento de la mezcla.

Este estudio realizó un examen granulométrico de acuerdo con ASTM C136, utilizando la técnica de tamiz seco. El procedimiento implicó pasar una cantidad representativa de la muestra de puzolana a través de una serie de tamices con aberturas de malla progresivamente más bajas, lo que permitió la separación y clasificación de partículas por tamaño. Posteriormente, se midió la cantidad de material retenido en cada tamiz, y se generó una curva granulométrica, lo que facilitó la evaluación de si la distribución de partículas cumplía con los criterios establecidos para su uso como material de cementación complementaria.

Este ensayo confirmó que la puzolana volcánica incluida en la mezcla de concreto tenía una granulometría adecuada para mejorar la reacción puzolánica y aumentar la cohesión de la matriz de cemento. Además, los datos permitieron la modificación de la operación de molienda, si era necesario, para lograr una finura óptima. Este método aseguró una distribución uniforme del material en toda la mezcla de concreto, mejorando así su resistencia mecánica y durabilidad.

iii. Resistencia a la compresión



La prueba de resistencia a la compresión fue una evaluación crítica en la evaluación del rendimiento mecánico del concreto, ya que determinó la capacidad del material para soportar las cargas antes de la falla estructural. Esta propiedad resultó crucial en la ingeniería civil, ya que influyó directamente en la seguridad y la estabilidad de las estructuras de concreto. La resistencia a la compresión se vio afectada por varios factores, incluida la relación agua/cemento, la granulometría agregada y la incorporación de materiales de cementación suplementarios, como la puzolana volcánica.

Esta investigación realizó una prueba de resistencia a la compresión siguiendo el estándar ASTM C39, empleando muestras de concreto cilíndricas hechas con diferentes proporciones de cemento sustituidas con puzolana volcánica. Después del proceso de curado, las muestras se sometieron a carga axial en un dispositivo de compresión hasta la falla, registrando la mayor fuerza ejercida. La resistencia a la compresión se calculó dividiendo la carga máxima por el área de sección transversal de la muestra, expresada en megapascales (MPa).

Este ensayo comparó el rendimiento mecánico del concreto convencional con el concreto modificado con puzolana volcánica, analizando la progresión de la resistencia a diferentes edades de curado: 7, 14 y 28 días. Los resultados evaluaron la viabilidad del empleo de puzolanas volcánicas como un reemplazo parcial para el cemento, analizando su impacto en la resistencia del concreto y su idoneidad para las estructuras expuestas a presiones de compresión.

3.9.4 Etapa de gabinete

La etapa del gabinete fue una fase esencial en la investigación, ya que permitió la organización, análisis e interpretación de los datos recopilados durante el proceso experimental. En esta etapa, se examinaron los datos obtenidos de las pruebas de laboratorio, se realizaron comparaciones con estudios anteriores y se extrajeron conclusiones basadas en evidencia cuantificable. Este paso garantizó que los resultados



estuvieran organizados de manera sistemática y coherente, lo que facilitó su presentación adecuada en la investigación y validación dentro del contexto científico y tecnológico.

Esta consulta incluyó numerosas tareas esenciales en la etapa del gabinete. Comenzó con la agregación y categorización de datos a partir de pruebas experimentales, incluidos los resultados de la resistencia a la compresión, la trabajabilidad, el análisis granulométrico y el contenido de humedad. Los datos fueron analizados a fondo para identificar posibles discrepancias y confirmar su autenticidad. Posteriormente, el material fue digitalizado y archivado, utilizando software estadístico y hojas de cálculo para mejorar su análisis.

Un componente esencial en esta etapa fue el examen de datos experimentales, empleando técnicas estadísticas para evaluar la dispersión, la tendencia central y la importancia de los resultados. La investigación determinó si las inconsistencias observadas en los datos experimentales fueron estadísticamente significativas, estableciendo así una base sólida para sacar conclusiones.

Se realizó un análisis comparativo con investigaciones anteriores durante la fase del gabinete, centrándose en estudios científicos, regulaciones técnicas y experiencias prácticas en la industria de la construcción. Esto permitió contextualizar los resultados dentro de un marco más amplio, destacando similitudes y diferencias con otros estudios sobre el uso de puzolanas volcánicas en concreto. La revisión de la literatura contribuyó a la discusión de los resultados al proporcionar una base teórica y técnica que corroboró los hallazgos observados.

Un elemento vital de esta fase fue la agregación de informes y documentos técnicos. Los resultados fueron presentados en tablas y gráficos, lo que facilitó su comprensión y permitió una visualización clara e inteligible de los datos experimentales. En consecuencia, los segmentos analíticos se formularon para aclarar el impacto de las puzolanas volcánicas en las propiedades del concreto, describiendo la evolución de la resistencia, la trabajabilidad y la durabilidad del material.



Se realizó una evaluación exhaustiva de los resultados, enfatizando las limitaciones del estudio, las posibles mejoras metodológicas y las sugerencias para futuras iniciativas de investigación. Este proceso mejoró la validez de la investigación y proporcionó recomendaciones sobre la importancia de los hallazgos en la industria de la construcción. La etapa del gabinete representó el período durante el cual los datos de laboratorio se agregaron y se convirtieron en información organizada, garantizando la integridad científica y tecnológica de la investigación.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de las muestras evaluadas

Los resultados del ensayo constituyen una síntesis cuantitativa y cualitativa de las mediciones obtenidas durante la experimentación, produciendo datos exactos sobre el comportamiento del material bajo investigación. Esta información facilita la evaluación de la influencia de las variables controladas y permite comparaciones entre varias combinaciones, por lo tanto, identificar tendencias y patrones en un rendimiento tangible. La interpretación precisa de estos resultados es crucial para corroborar las hipótesis propuestas y reforzar las conclusiones del estudio.

Cada prueba realizada produce ideas críticas con respecto a las características particulares del elemento evaluado. Las pruebas de resistencia a la compresión y flexión evalúan la capacidad estructural del concreto, mientras que las pruebas de trabajo y el análisis granulométrico proporcionan información sobre la calidad de la mezcla y su gestión en un estado nuevo. La caracterización de la puzolana volcánica revela sus propiedades físicas y químicas, confirmando su compatibilidad con el cemento de Portland. La agregación de estos resultados facilita la evaluación de la eficacia de las puzolanas en concreto y proporciona una base para investigaciones y aplicaciones posteriores dentro del sector de la construcción.

Contenido de humedad de los agregados

Tabla 3

Datos logrados de los suelos del área de estudio

Muestra: Agregados		
	AF	AG
Peso del muestreo en húmedo+ Tarro	343.74	430.69
Peso de muestreo seco+ Tarro	330.42	422.85
Peso Tarro	51.74	59.41
Peso de muestreo húmedo	292.00	371.28
Peso de muestreo seco	278.68	363.44
Peso - Agua	13.32	7.84
% Humedad	4.78	2.16

El cuadro expone los valores obtenidos en el ensayo de contenido de humedad aplicado a los agregados utilizados en la investigación, diferenciando entre agregado fino (AF) y agregado grueso (AG). Se registraron los pesos del material en estado húmedo y seco, utilizando un recipiente de referencia para garantizar la precisión de las mediciones. En el caso del agregado fino, se obtuvo un peso de 292.00 g en condición húmeda y 278.68 g tras el secado, resultando en un porcentaje de humedad de 4.78%, mientras que para el agregado grueso, los valores fueron de 371.28 g y 363.44 g, respectivamente, obteniendo una humedad del 2.16%. Estas mediciones permiten determinar la cantidad de agua retenida en los agregados y son esenciales para corregir la dosificación del agua en la mezcla de concreto, garantizando un adecuado control de la relación agua/cemento, lo que impacta directamente en la trabajabilidad, resistencia y durabilidad del material en estado endurecido.

Pesos unitarios sueltos

Tabla 4

Valores con respecto a los agregados

	Pe. específico (gr/cm³)	Absorción (%)
Fino	2.74	4.74
Grueso	2.36	2.53

La tabla presenta los valores correspondientes al peso específico y absorción de los agregados empleados en la investigación, diferenciando entre agregado fino y agregado grueso. Para el agregado fino, se determinó un peso específico de 2.74 g/cm^3 y un índice de absorción de 4.74% , lo que indica su capacidad de retención de agua en función de su porosidad. En el caso del agregado grueso, el peso específico registrado fue de 2.36 g/cm^3 , con un porcentaje de absorción de 2.53% , evidenciando una menor porosidad en comparación con el agregado fino. Estos parámetros son determinantes en el diseño de la mezcla de concreto, ya que permiten ajustar la relación agua/cemento y optimizar la trabajabilidad, resistencia y durabilidad del material, asegurando un adecuado desempeño estructural en estado endurecido.

Análisis granulométrico

Figura 9

Curvas de valores granulométricos (grava)

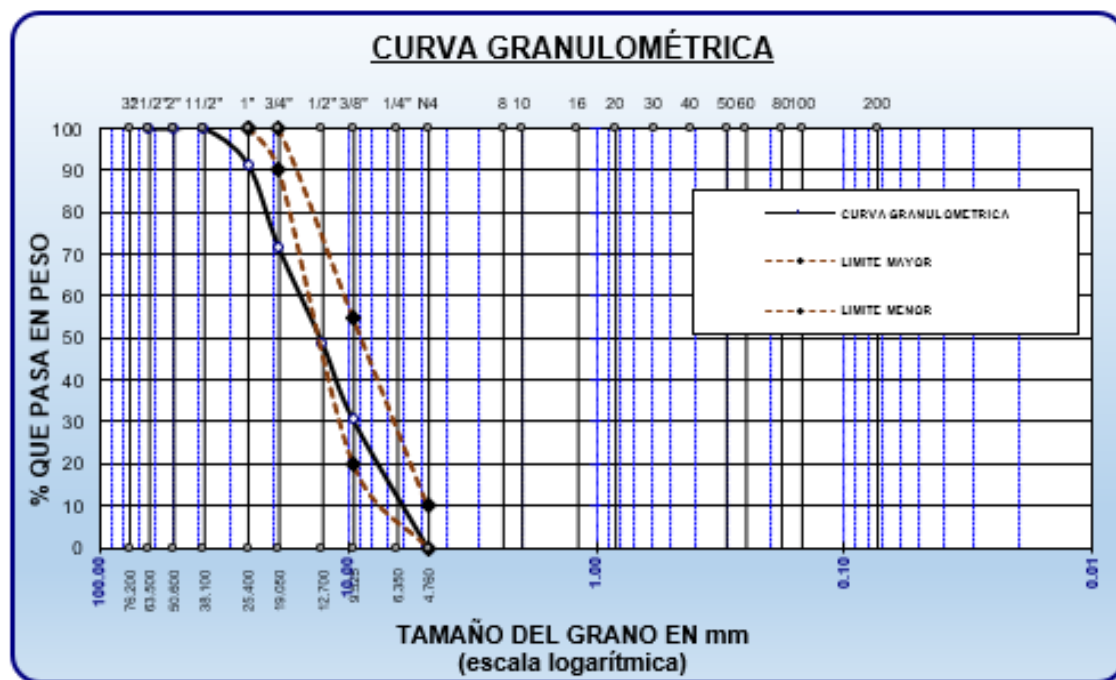
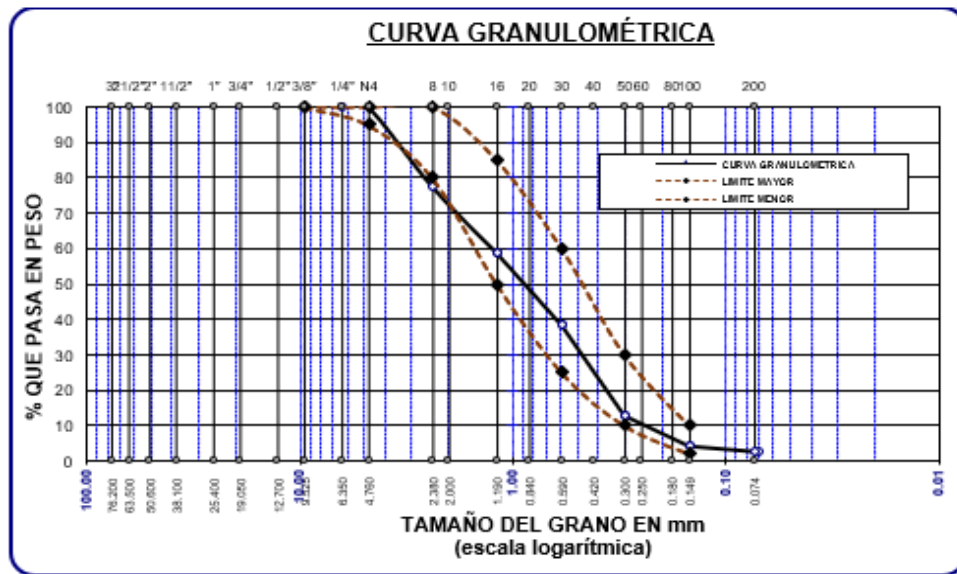


Figura 10

Curvas de valores granulométricos (fino)



Diseño de mezclas 210 kg/cm²

Tabla 5

Datos para el diseño 210kg/cm²

Parámetro	Valor
Cemento Tipo	I Portland
Agregado Grueso (TMN)	20 mm
Relación Agua/Cemento	0.41
Asentamiento	76.20 mm - 101.60 mm (3"- 4")
Cantidad de Agua	228.00 lts
Porcentaje de Aire	2.00%
Contenido de Cemento	556 kg/m ³
Peso del Agregado Grueso	962 kg/m ³
Volumen de Agua	0.228 m ³
Volumen de Cemento	0.193 m ³
Volumen de Agregado Grueso	0.380 m ³
Volumen de Aire Incorporado	0.030 m ³
Volumen Total	0.831 m ³
Volumen de Agregado Fino	0.169 m ³
Peso del Agregado Fino	433 kg/m ³

La tabla presenta un resumen estructurado del diseño de mezcla de concreto, detallando los parámetros fundamentales utilizados en la formulación de la mezcla. Se especifica el tipo de cemento empleado (I Portland), el tamaño máximo nominal del agregado grueso (20 mm) y la relación agua/cemento (0.41), parámetros esenciales para garantizar la resistencia y trabajabilidad del material. Asimismo, se incluyen los valores de asentamiento (76.20 mm - 101.60 mm) y el contenido de agua (228.00 litros), ajustados a las condiciones ambientales en las que será aplicado el concreto. Se calcula el contenido de aire incorporado (2.00%), la cantidad de cemento requerida (556 kg/m^3) y el peso del agregado grueso (962 kg/m^3), asegurando una distribución balanceada de los componentes. Finalmente, se detallan los volúmenes de cada material en la mezcla, incluyendo agua (0.228 m^3), cemento (0.193 m^3), agregado grueso (0.380 m^3) y aire incorporado (0.030 m^3), lo que da un subtotal de 0.831 m^3 . A partir de este subtotal, se determina el volumen y peso del agregado fino, obteniendo 0.169 m^3 y 433 kg/m^3 , respectivamente. Estos valores permiten garantizar una dosificación óptima de los materiales, asegurando la calidad y resistencia del concreto diseñado.

Proporciones para el diseño de mezcla

Tabla 6

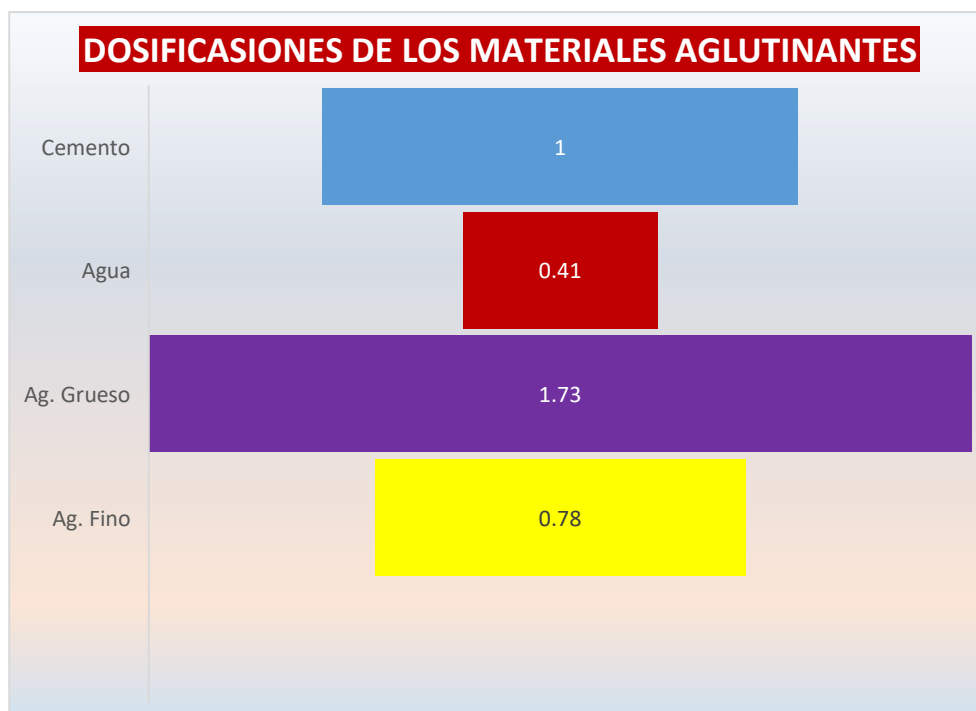
Cantidades de material utilizado

Agregado	Dosificación	Proporción	Dosificación	Proporción
	Peso Seco	Volumen	Peso Húmedo	Volumen
	(Kg/m ³)	peso seco	(kg/m ³)	peso húmedo
Cemento	366	1.00	366	1
Agua	205	0.42	187	0.38
Ag. Grueso	929	1.75	949	1.74
Ag. Fino	702	0.69	736	0.86
Aire	2.00%		2.00%	

La tabla muestra las proporciones del diseño de mezcla utilizadas en la formulación del concreto, detallando la dosificación de cada material en peso seco y peso húmedo, así como su correspondiente proporción volumétrica. Para el cemento, se establece una dosificación de 366 kg/m^3 , manteniendo una proporción volumétrica de 1.00 tanto en peso seco como en húmedo. El agua se dosifica en 205 kg/m^3 en peso seco y 187 kg/m^3 en peso húmedo, reflejando una reducción en la cantidad de agua disponible debido a la absorción de los agregados, con proporciones volumétricas de 0.42 y 0.38, respectivamente. En el caso del agregado grueso, la dosificación en peso seco es de 929 kg/m^3 , aumentando a 949 kg/m^3 en peso húmedo debido a la absorción de agua por los poros del material. Su proporción volumétrica se mantiene prácticamente constante, con valores de 1.75 en peso seco y 1.74 en peso húmedo. Por su parte, el agregado fino presenta una dosificación de 702 kg/m^3 en peso seco y 736 kg/m^3 en peso húmedo, con proporciones volumétricas de 0.69 y 0.86, respectivamente, reflejando un aumento en su volumen debido a la humedad retenida.

Figura 11

Proporción de los componentes del concreto



En la siguiente estamos considerando las distintas cantidades de dosificación para las muestras convencionales, por ende, estos datos mostrados son los adecuados para el concreto 210kg/cm².

Tabla 7*Cantidad de material utilizado en las mezclas*

Materiales	dosificado con 8%	dosificado con 16%	dosificado con 24%
	Dosificación	Dosificación	Dosificación
	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)
Cemento	366	366	366
Agua	205	205	205
Ag. Grueso	929	929	929
Ag. Fino	702	702	702
Puzolana volcánica	29.28	58.56	87.84

La tabla presenta la cantidad de material utilizado en las mezclas de concreto con diferentes dosificaciones de puzolana volcánica. Se observan tres dosificaciones distintas: 8%, 16% y la dosificación máxima, la cual es 100% de puzolana volcánica en reemplazo de cemento. En cada dosificación, se mantienen constantes las cantidades de agua, agregado grueso y agregado fino, mientras que la cantidad de puzolana volcánica aumenta conforme se incrementa el porcentaje de reemplazo del cemento. Por ejemplo, en la dosificación con 8% de puzolana se utiliza 29.28 kg/m³, mientras que en la dosificación con 16% se incrementa a 58.56 kg/m³, y en la dosificación con 100% de reemplazo de cemento, se utiliza 87.84 kg/m³ de puzolana.

4.1.1 Características del concreto posterior al ensayo de asentamiento

a. SLUMP concreto estándar

Tabla 8

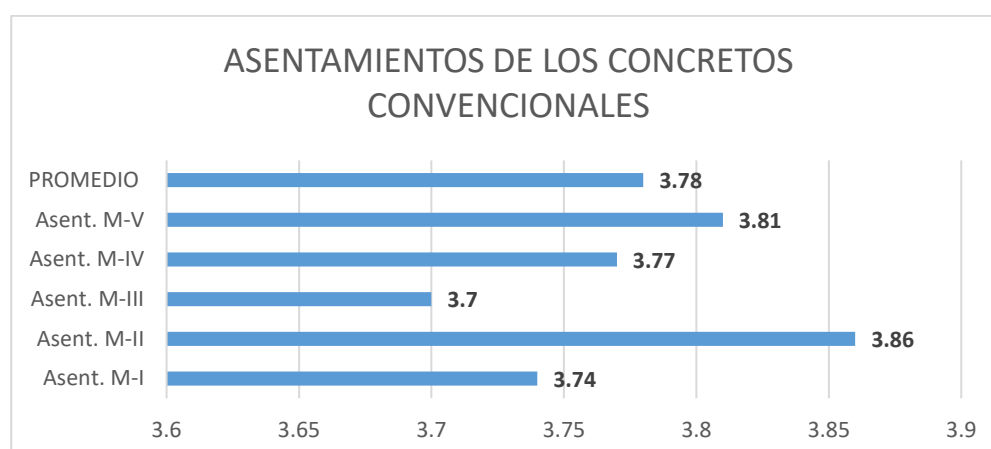
Análisis de los asentamientos logrados (estándar)

Nº	Descripción de la muestra	SLUMP	Consistencia (slump)
1	MI		3.74
2	MII		3.86
3	MIII	3-4"	3.70
4	MIV		3.77
5	MV		3.81
PROM.			3.78

La tabla presenta un resumen del asentamiento (slump) de la mezcla muestra patrón, detallando los valores obtenidos en cinco muestras diferentes (M-I a M-V). Se observa que la consistencia medida en slump varía entre 3.70 y 3.86, con un promedio final de 3.78. La muestra M-III registra un rango de asentamiento de 3-4", lo que indica que se encuentra dentro del margen establecido para la trabajabilidad del concreto. Estos resultados permiten evaluar la fluidez y cohesión de la mezcla, asegurando que cumple con los requisitos de diseño para su correcta colocación y compactación en obra.

Figura 12

Descripción grafica de los valores logrados (SLUMP)



La gráfica muestra la síntesis de los asentamientos de las muestras de concreto convencional, representando visualmente la variabilidad en la consistencia (slump) de las diferentes mezclas evaluadas (M-I a M-V). Se observa que la muestra M-II alcanzó el mayor asentamiento con un valor de 3.86, mientras que la muestra M-III presentó el valor más bajo con 3.70. Las demás muestras exhiben valores intermedios, manteniéndose dentro del rango esperado para la trabajabilidad del concreto. El promedio general del asentamiento es 3.776, lo que indica una homogeneidad en la mezcla y confirma que los valores se encuentran dentro del intervalo aceptable para garantizar la correcta colocación y compactación del concreto en obra.

Tabla 9

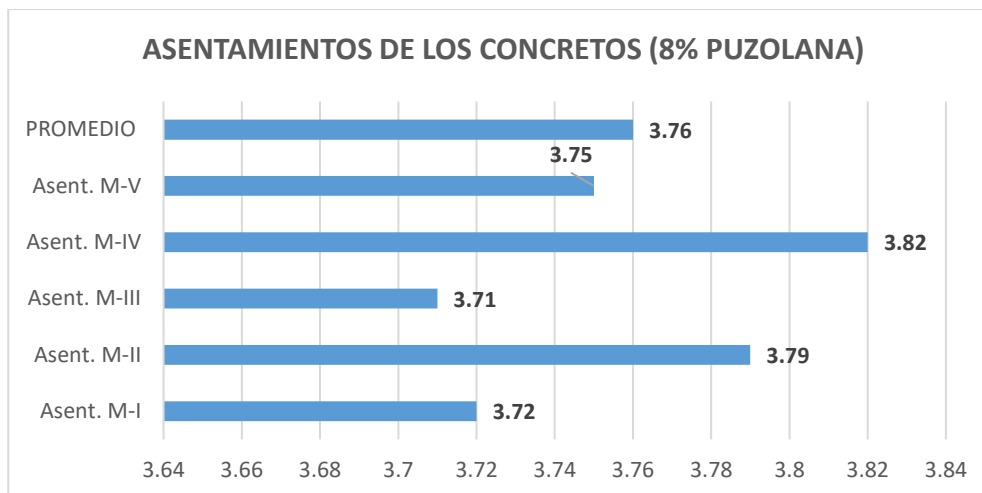
Análisis de los asentamientos logrados (puzolana volcánica 8%)

Nº	Descripción de la muestra	SLUMP	Consistencia (slump)
1	MI		3.72
2	MII		3.79
3	MIII	3-4"	3.71
4	MIV		3.82
5	MV		3.75
PROM.			3.76

La tabla presenta el análisis del asentamiento en mezclas de concreto con un 8% de puzolana volcánica, registrando los valores obtenidos en cinco muestras distintas (MI a MV). Los resultados muestran ligeras variaciones en la consistencia del concreto, con valores de asentamiento que oscilan entre 3.71 y 3.82, siendo la muestra MIV la que presenta el mayor asentamiento, mientras que la MIII registra el menor valor. La media de los valores obtenidos es 3.76, lo que indica una adecuada estabilidad en la trabajabilidad de la mezcla, asegurando que la incorporación de puzolana no afecte significativamente la fluidez del concreto y mantenga su capacidad de colocación y compactación dentro de los rangos óptimos.

Figura 13

Descripción grafica de los valores logrados (SLUMP + 8% de puzolana)



La gráfica representa la variabilidad de los valores de asentamiento en mezclas de concreto con un 8% de puzolana volcánica, evidenciando una trabajabilidad uniforme en todas las muestras analizadas. Se observa que la muestra M-IV presentó el mayor asentamiento con 3.82, mientras que la muestra M-III registró el menor valor con 3.71, manteniéndose el resto de las muestras en un rango estable.

Tabla 10

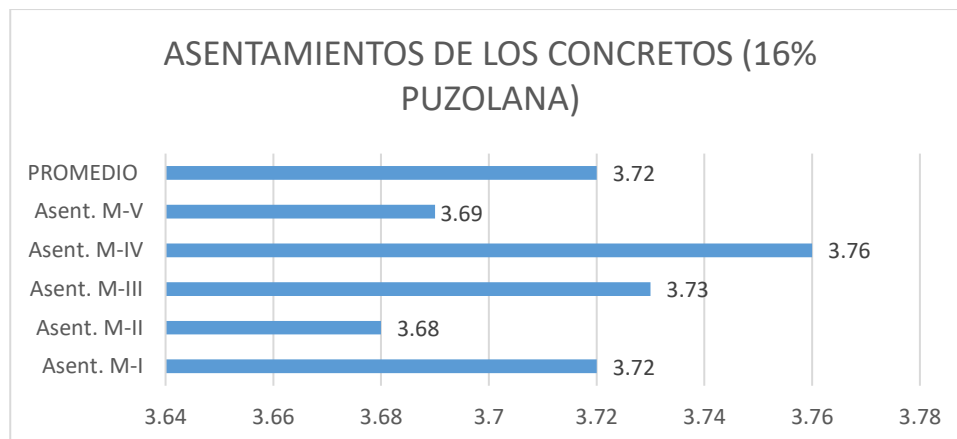
Análisis de los asentamientos logrados (puzolana volcánica 16%)

Nº	Descripción de la	SLUMP	Consistencia (slump)
1	MI		3.72
2	MII		3.68
3	MIII	3-4"	3.73
4	MIV		3.76
5	MV		3.69
		PROM.	3.72

La tabla muestra los valores de asentamiento (slump) en mezclas de concreto con un 16% de puzolana volcánica, donde los resultados oscilan entre 3.68 y 3.76, con un promedio general de 3.72. La muestra MIV alcanzó el mayor asentamiento (3.76), mientras que la menor consistencia se registró en MII (3.68). Estos valores reflejan una trabajabilidad estable, indicando que la incorporación del 16% de puzolana no afecta significativamente la fluidez del concreto.

Figura 14

Descripción grafica de los valores logrados (SLUMP + 16% de puzolana)



La gráfica muestra la variación del asentamiento en mezclas de concreto con un 16% de puzolana volcánica, reflejando valores entre 3.68 y 3.76, con un promedio de 3.716. La muestra MIV presentó el mayor asentamiento (3.76), mientras que MII registró el menor (3.68), manteniéndose dentro de un rango estable. Estos resultados indican que la incorporación de puzolana en esta proporción no altera significativamente la trabajabilidad del concreto, asegurando su adecuada colocación y compactación.

Tabla 11

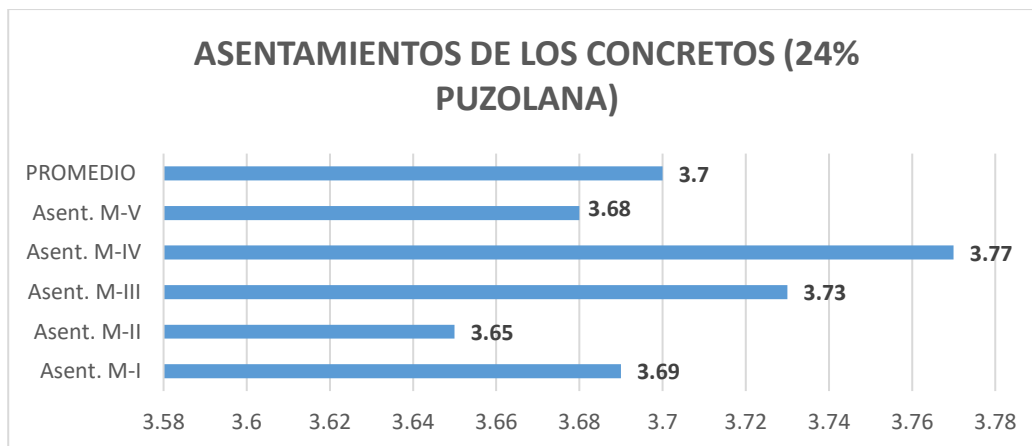
Análisis de los asentamientos logrados (puzolana volcánica 24%)

Nº	Descripción de la muestra	SLUMP	Consistencia (slump)
1	MI	3-4"	3.69
2	MII		3.65
3	MIII		3.73
4	MIV		3.77
5	MV		3.68
PROMEDIO			3.70

La tabla muestra los valores de asentamiento (slump) en mezclas de concreto con un 24% de puzolana volcánica, registrando variaciones entre 3.65 y 3.77, con un promedio de 3.70. La muestra MIV presentó el mayor asentamiento (3.77), mientras que MII registró el menor (3.65). Estos resultados indican una consistencia estable en la mezcla, demostrando que la adición del 24% de puzolana no afecta significativamente la trabajabilidad del concreto.

Figura 15

Descripción grafica de los valores logrados (SLUMP + 24% de puzolana)



La gráfica muestra los valores de asentamiento de los concretos con la adición del 24% de puzolana, donde se pueden observar variaciones en los resultados según la mezcla. El promedio general de los asentamientos es de 3.704, con el valor más alto alcanzado por la mezcla M-III que muestra un asentamiento de 3.77. Mientras tanto, las mezclas M-V y M-IV presentan valores cercanos de 3.68 y 3.65, respectivamente.

Comparativa de los asentamientos logrados

Tabla 12

Conjunto de resultados promedio obtenidos al incorporar puzolana

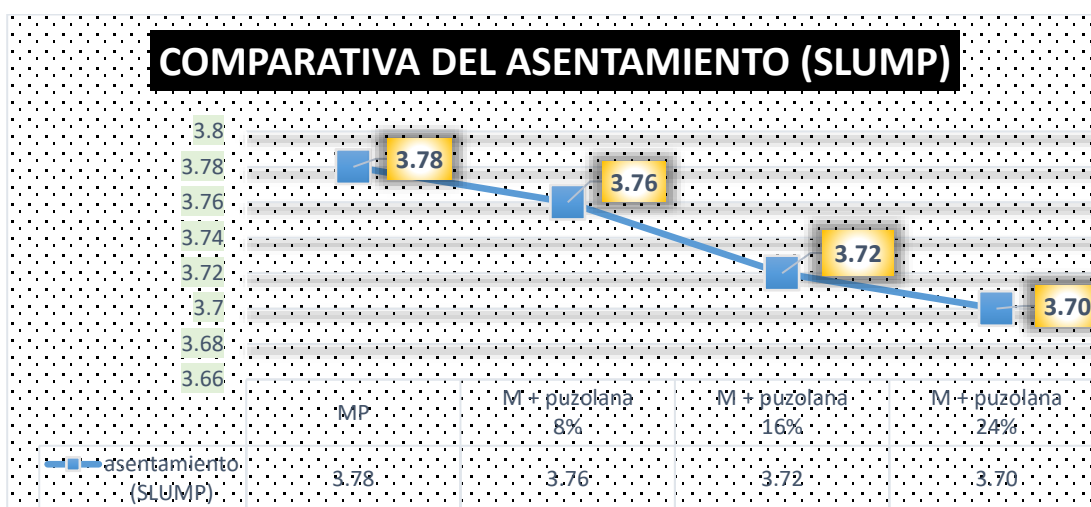
TRABAJABILIDAD DE LA MEZCLA	
Descripción	Asentamiento (Slump)
MP	3.78"
M + puzolana 8%	3.76"
M + puzolana 16%	3.72"
M + puzolana 24%	3.70"

La tabla presenta el promedio de asentamiento en las diferentes mezclas de concreto al incorporar diferentes porcentajes de puzolana volcánica. Se observa que la mezcla patrón (MP) registró el mayor asentamiento con 3.78", mientras que, al aumentar el contenido de

puzolana, el asentamiento disminuye progresivamente, alcanzando 3.76" con 8% de puzolana, 3.72" con 16% y 3.70" con 24%. Estos resultados indican que, aunque la incorporación de puzolana reduce ligeramente la trabajabilidad, la variación es mínima, manteniendo la mezcla dentro de rangos adecuados para su correcta aplicación en obra.

Figura 16

Grafica de valores promedio observados



La gráfica muestra la comparación de los valores de asentamiento (slump) en distintas mezclas de concreto, incluyendo la mezcla patrón (MP) y aquellas con 8%, 16% y 24% de puzolana volcánica. Se observa que el asentamiento disminuye progresivamente a medida que aumenta el contenido de puzolana, registrando 3.78" en la mezcla patrón, 3.76" con 8% de puzolana, 3.72" con 16% y 3.70" con 24%. Esta tendencia indica que la incorporación de puzolana reduce levemente la trabajabilidad de la mezcla, aunque sin afectar significativamente su comportamiento en estado fresco, manteniéndolo dentro de los parámetros aceptables para su correcta aplicación.

4.1.2 Resistencia del concreto + puzolana

La capacidad de carga del concreto que incorpora Puzolana se caracteriza por la resistencia que proporciona contra las fuerzas aplicadas, asegurando su integridad

estructural y eficacia mecánica a lo largo del tiempo. Este parámetro es esencial en la ingeniería de materiales, ya que dicta la capacidad del concreto para resistir las tensiones sin incurrir en deformaciones graves o fallas prematuras. La inclusión de Puzolana en la mezcla altera las propiedades fisicoquímicas del concreto, afectando su resistencia a la compresión, capacidad de flexión y durabilidad, por lo tanto, optimizando su rendimiento estructural en condiciones de carga.

La incorporación de puzolana en el concreto produce una matriz cementosa densa y compacta, atribuible a la reacción puzolánica que disminuye la porosidad y facilita la síntesis de compuestos cementitivos complementarios. La mejora de la microestructura de concreto da como resultado una mayor resistencia a las cargas mecánicas y a la permeabilidad reducida, por lo que extiende su vida útil y rendimiento en condiciones desafiantes. Además, la estabilidad química conferida por la puzolana mejora la resistencia del concreto a los agentes hostiles, como los sulfatos y los cloruros, mejorando por lo tanto su rendimiento estructural y su capacidad de carga en aplicaciones de alta demanda.

Pruebas de resistencia a la compresión concreto convencional

Tabla 13

Recopilación de resistencia a compresión del concreto base

Exposición (compresión)	Carga (kg)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Días de curado
B.1	25714	145.32		
B.2	25735	146.02		
B.3	25721	145.36	210	7
B.4	25769	146.22		
B.5	25836	146.01		
	Prom. Final	145.78		

La tabla presenta los resultados obtenidos de las muestras de concreto base sometidas a pruebas de resistencia a las fuerzas compresivas. Se indican las cinco exposiciones (B.1 a B.5) con los valores de carga aplicada en kilogramos y la resistencia obtenida en

kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2). Los valores del soporte oscilan entre 145.32 y 146.22 kg/cm^2 , con un promedio final de 145.78 kg/cm^2 . Además, se especifica que todas las muestras fueron sometidas a un proceso de curado de 7 días, y se incluye un valor de diseño de 210 kg/cm^2 , lo que sugiere una referencia de diseño para la comparación de los resultados obtenidos.

Figura 17

Datos recabados a partir de una muestra estándar



Esta gráfica muestra los resultados de la resistencia a las fuerzas compresivas de varias muestras de concreto convencional, las cuales fueron sometidas a pruebas. Los datos corresponden a diferentes Muestras (Muestra 1 a Muestra 5) y se comparan con el promedio final de la resistencia del concreto. Los valores de resistencia oscilan entre 145.32 y 146.22 kg/cm^2 , con el promedio final de 145.78 kg/cm^2 . La gráfica también indica que los resultados están representados por barras naranjas y azules, evidenciando las mediciones de cada Muestra y destacando el rango de resistencia alcanzado en todas las muestras de concreto.

Pruebas de compresión en muestras con puzolana 8%

Tabla 14

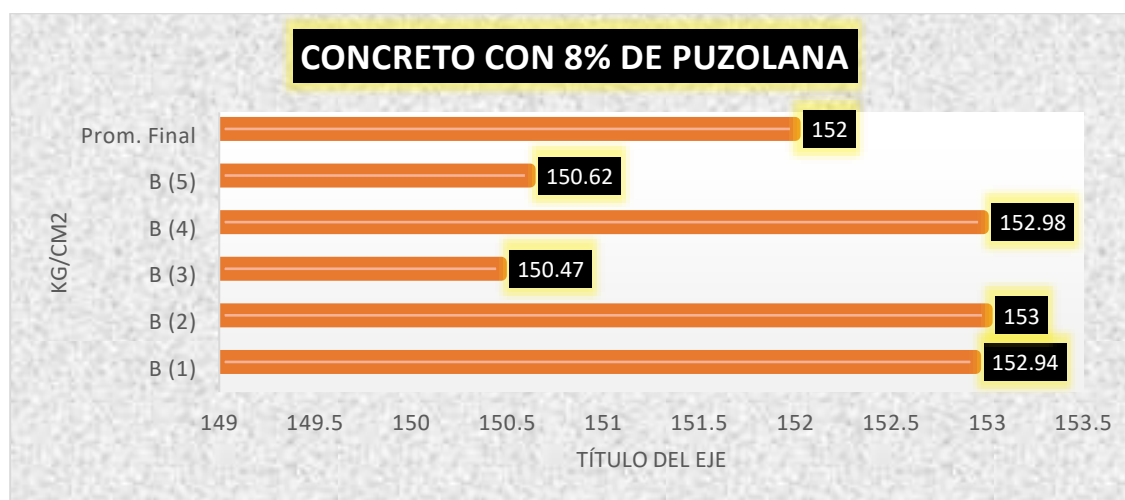
Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 8%

Exposición (compresión)	Carga (kg)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Días de curado
B1	27063	152.94		
B2	27074	153.00		
B3	26625	150.47	210	7
B4	27069	152.98		
B5	26652	150.62		
	Prom. Final	152.00		

La tabla presenta los resultados de la resistencia a la compresión de concreto con la adición de un 8% de puzolana. Se incluyen cinco muestras, cada una con su respectiva carga y soporte medido en kg/cm². Las cargas van desde 26,652 kg hasta 27,074 kg, mientras que los valores de soporte oscilan entre 150.47 kg/cm² y 153.00 kg/cm². El promedio final de soporte es de 152.00 kg/cm². La tabla también especifica los días de curado, que son 7 días para todas las muestras. Estos datos ofrecen una visión detallada de la efectividad del concreto con puzolana al resistir fuerzas compresivas.

Figura 18

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 8%



La gráfica muestra los resultados obtenidos de una muestra estándar de concreto con 8% de puzolana. En ella, se puede observar el valor promedio final de soporte, que es de 152 kg/cm², y los valores de soporte de las diferentes muestras, las cuales van desde 150.47 kg/cm² hasta 153.00 kg/cm². Los datos están representados de manera visual, con barras horizontales que ilustran las variaciones en el soporte para cada muestra. La gráfica facilita la comparación entre los diferentes Muestras, destacando la consistencia y resistencia del concreto con la adición de puzolana en su formulación.

Pruebas de compresión en muestras con puzolana 16%

Tabla 15

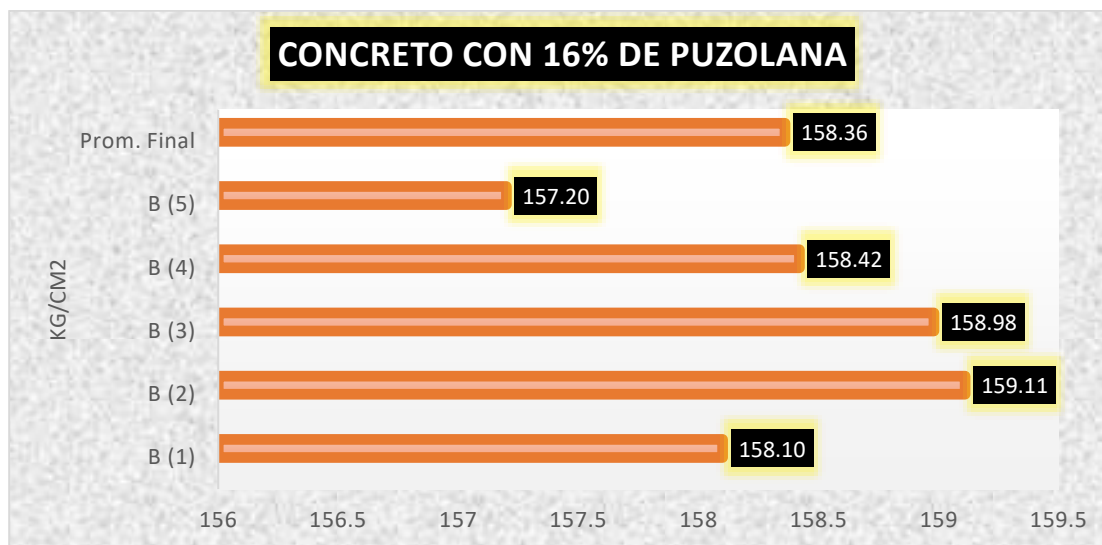
Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 16%

Exposición (compresión)	Carga (kg)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Días de curado
B1	27976	158.10		
B2	28155	159.11		
B3	28131	158.98	210	7
B4	28032	158.42		
B5	27816	157.20		
	Prom. Final	158.36		

La tabla muestra la recopilación de datos sobre el soporte a fuerzas compresivas del concreto con un 16% de puzolana. Se presentan las cargas y los soportes obtenidos en kg/cm² para cinco muestras diferentes (B1 a B5). El valor promedio final del soporte es de 158.36 kg/cm². Las muestras varían en su rendimiento, con un valor máximo de soporte de 159.11 kg/cm² en la muestra B2 y el valor mínimo de 157.20 kg/cm² en la muestra B5. Estos datos reflejan la capacidad de soporte del concreto con adición de puzolana al 16%, lo que puede influir en su resistencia y durabilidad.

Figura 19

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 16%



La gráfica muestra los resultados obtenidos de las fuerzas compresivas del concreto con un 16% de puzolana. Los datos se presentan en barras horizontales que reflejan el soporte de las muestras (de Muestra 1 a Muestra 5) junto con el promedio final. El valor promedio es de 158.36 kg/cm², con la muestra "Muestra (2)" obteniendo el valor más alto de 159.11 kg/cm². Las otras muestras fluctúan entre 157.2 y 158.98 kg/cm², indicando un buen comportamiento en términos de soporte a compresión para este tipo de concreto modificado con puzolana.

Pruebas de compresión en muestras con puzolana 24%

Tabla 16

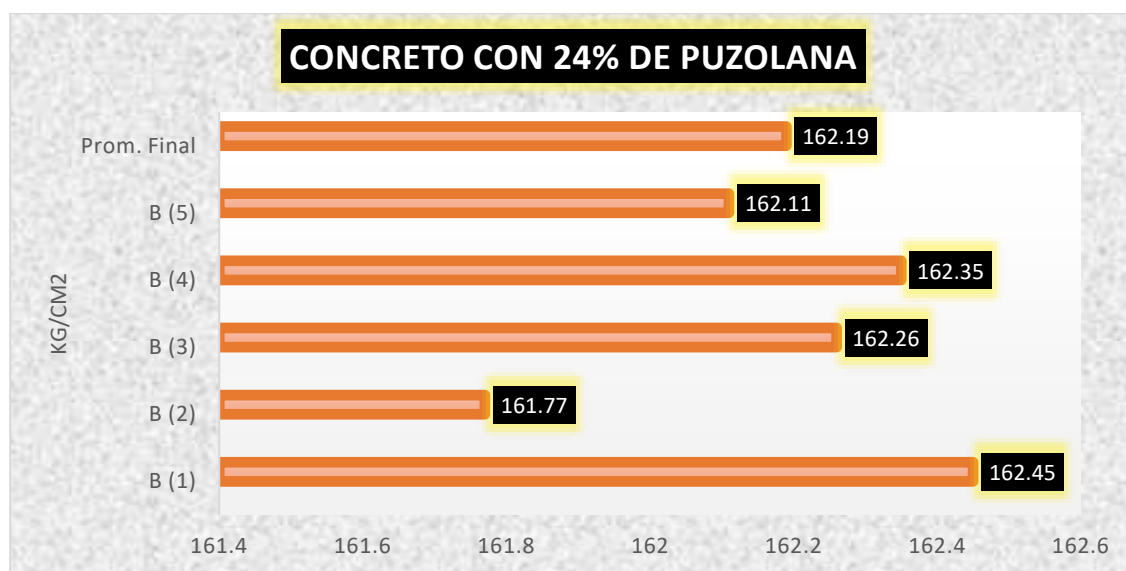
Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 24%

Exposición (compresión)	Carga (kg)	Soporte (kg/cm2)	Diseño	Días de curado
B1	28746	162.45	210	7
B2	28625	161.77		
B3	28597	162.26		
B4	28613	162.35		
B5	28685	162.11		
Prom. Final		162.19		

La tabla muestra los resultados obtenidos al evaluar las fuerzas compresivas del concreto con 24% de puzolana. Se presentan cinco muestras (B1 a B5), donde se indican la carga aplicada, el soporte (en kg/cm²) y los días de curado. Los valores de soporte oscilan entre 161.77 kg/cm² y 162.45 kg/cm². El promedio final de soporte es de 162.19 kg/cm², lo que sugiere una resistencia notable a la compresión en las muestras de concreto con 24% de puzolana, manteniéndose dentro de un rango estrecho de variación.

Figura 20

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 24%



La gráfica presenta los resultados obtenidos al evaluar las propiedades del concreto con una mezcla que contiene 24% de puzolana. Se observa un comportamiento estable en los diferentes Muestras, con valores de soporte que varían ligeramente entre 161.77 y 162.45 kg/cm². El promedio final de soporte es de 162.19 kg/cm², destacando la consistencia y capacidad de resistencia a la compresión del concreto con esta proporción de puzolana. Esta distribución de valores sugiere un rendimiento sólido y uniforme a lo largo de las muestras analizadas.

Pruebas de resistencia a la compresión concreto convencional 14vo día

Tabla 17

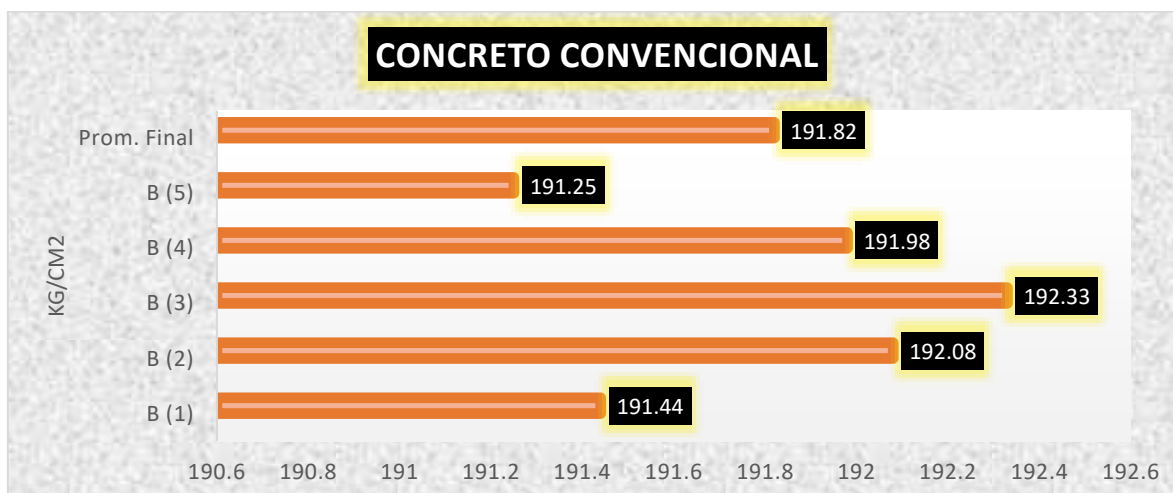
Recopilación de resistencia a compresión del concreto base

Exposición (compresión)	Carga (kg)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Días de curado
B.1	33875	191.44	210	14
B.2	33988	192.08		
B.3	33896	192.33		
B.4	33835	191.98		
B.5	33842	191.25		
Prom. Final		191.82		

La tabla presenta los resultados obtenidos de las muestras de concreto base sometidas a pruebas de resistencia a las fuerzas compresivas. Se indican las cinco exposiciones (B.1 a B.5) con los valores de carga aplicada en kilogramos y la resistencia obtenida en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²). Los valores del soporte oscilan entre 191.25 y 192.33 kg/cm², con un promedio final de 191.82 kg/cm². Además, se especifica que todas las muestras fueron sometidas a un proceso de curado de 14 días, y se incluye un valor de diseño de 210 kg/cm², lo que sugiere una referencia de diseño para la comparación de los resultados obtenidos.

Figura 21

Datos recabados a partir de una muestra estándar



Esta gráfica muestra los resultados de la resistencia a las fuerzas compresivas de varias muestras de concreto convencional, las cuales fueron sometidas a pruebas. Los datos corresponden a diferentes Muestras (Muestra 1 a Muestra 5) y se comparan con el promedio final de la resistencia del concreto. Los valores de resistencia oscilan entre 191.25 y 192.33 kg/cm², con el promedio final de 191.82 kg/cm². La gráfica también indica que los resultados están representados por barras naranjas y azules, evidenciando las mediciones de cada Muestra y destacando el rango de resistencia alcanzado en todas las muestras de concreto.

Pruebas de compresión en muestras con puzolana 8%

Tabla 18

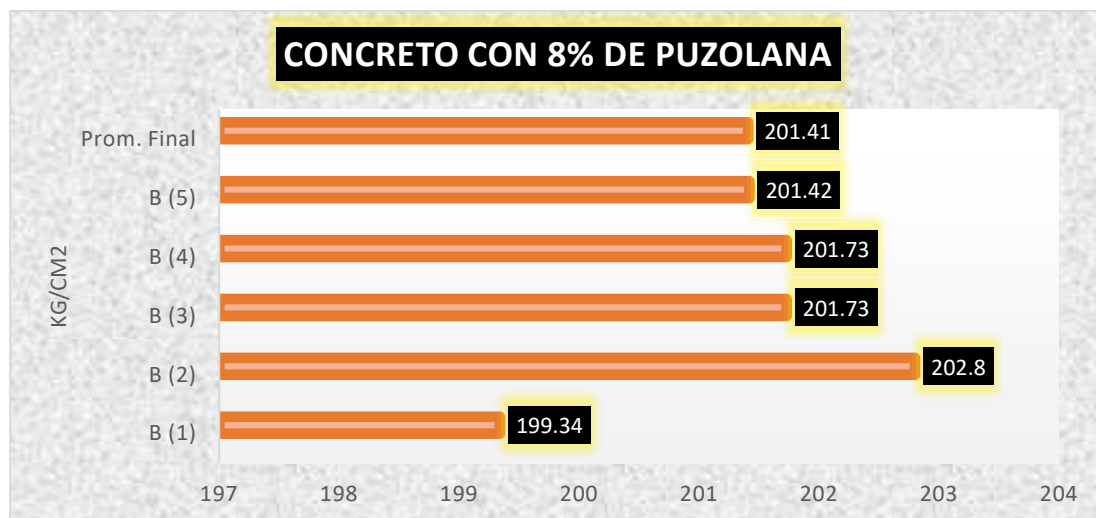
Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 8%

Exposición (compresión)	Carga (kg)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Días de curado
B1	35274	199.34		
B2	35885	202.80		
B3	35696	201.73	210	14
B4	35553	201.73		
B5	35642	201.42		
	Prom. Final	201.41		

La tabla presenta los resultados de la resistencia a la compresión de concreto con la adición de un 8% de puzolana. Se incluyen cinco muestras, cada una con su respectiva carga y soporte medido en kg/cm². Las cargas van desde 35,274 kg hasta 35,885 kg, mientras que los valores de soporte oscilan entre 199.34 kg/cm² y 202.80 kg/cm². El promedio final de soporte es de 201.41 kg/cm². La tabla también especifica los días de curado, que son 7 días para todas las muestras. Estos datos ofrecen una visión detallada de la efectividad del concreto con puzolana al resistir fuerzas compresivas.

Figura 22

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 8%



La gráfica muestra los resultados obtenidos de una muestra estándar de concreto con 8% de puzolana. En ella, se puede observar el valor promedio final de soporte, que es de 201.41 kg/cm², y los valores de soporte de las diferentes muestras, las cuales van desde 199.34 kg/cm² hasta 201.73 kg/cm². Los datos están representados de manera visual, con barras horizontales que ilustran las variaciones en el soporte para cada muestra. La gráfica facilita la comparación entre los diferentes Muestras, destacando la consistencia y resistencia del concreto con la adición de puzolana en su formulación.

Pruebas de compresión en muestras con puzolana 16%

Tabla 19

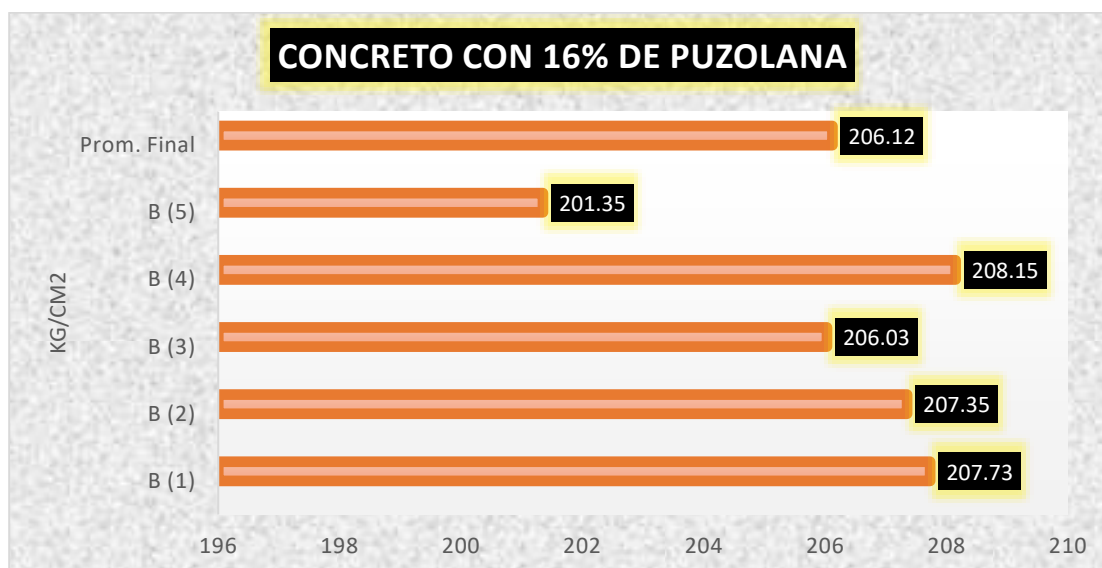
Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 16%

Exposición (compresión)	Carga (kg)	Soporte (kg/cm2)	Diseño	Días de curado
B1	36758	207.73		
B2	36691	207.35		
B3	36457	206.03	210	14
B4	36685	208.15		
B5	35628	201.35		
	Prom. Final	206.12		

La tabla muestra la recopilación de datos sobre el soporte a fuerzas compresivas del concreto con un 16% de puzolana. Se presentan las cargas y los soportes obtenidos en kg/cm^2 para cinco muestras diferentes (B1 a B5). El valor promedio final del soporte es de 203.12 kg/cm^2 . Las muestras varían en su rendimiento, con un valor máximo de soporte de 207.73 kg/cm^2 en la muestra B1 y el valor mínimo de 201.35 kg/cm^2 en la muestra B5. Estos datos reflejan la capacidad de soporte del concreto con adición de puzolana al 16%, lo que puede influir en su resistencia y durabilidad.

Figura 23

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 16%



La gráfica muestra los resultados obtenidos de las fuerzas compresivas del concreto con un 16% de puzolana. Los datos se presentan en barras horizontales que reflejan el soporte de las muestras (de Muestra 1 a Muestra 5) junto con el promedio final. El valor promedio es de 206.12 kg/cm^2 , con la muestra "Muestra (4)" obteniendo el valor más alto de 208.15 kg/cm^2 . Las otras muestras fluctúan entre 201.35 y 208.15 kg/cm^2 , indicando un buen comportamiento en términos de soporte a compresión para este tipo de concreto modificado con puzolana.

Pruebas de compresión en muestras con puzolana 24%

Tabla 20

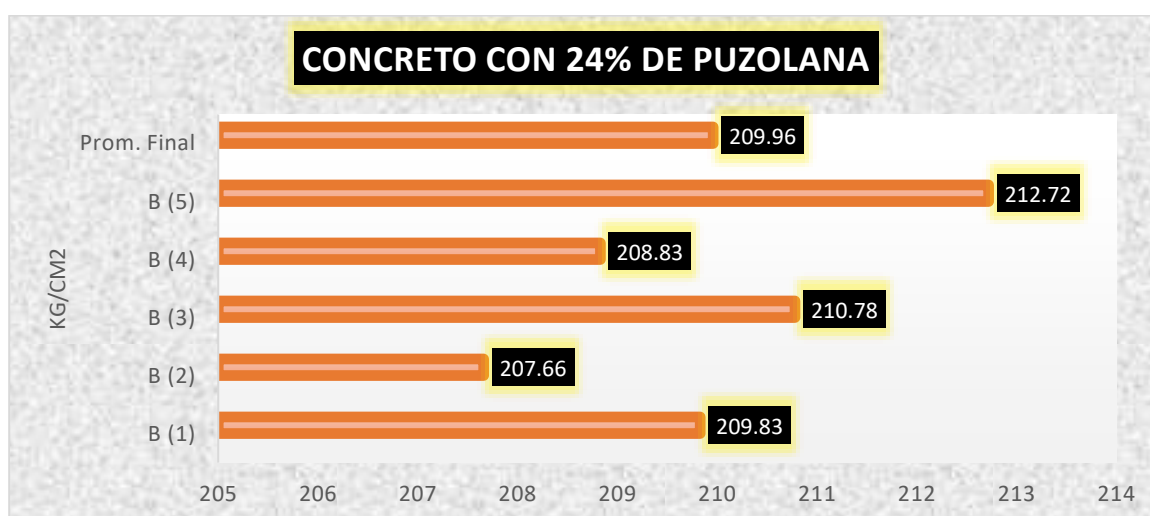
Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 24%

Exposición (compresión)	Carga (kg)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Días de curado
B1	37129	209.83		
B2	36745	207.66		
B3	37298	210.78	210	14
B4	36952	208.83		
B5	37641	212.72		
Prom. Final		209.96		

La tabla muestra los resultados obtenidos al evaluar las fuerzas compresivas del concreto con 24% de puzolana. Se presentan cinco muestras (B1 a B5), donde se indican la carga aplicada, el soporte (en kg/cm²) y los días de curado. Los valores de soporte oscilan entre 207.66 kg/cm² y 212.72 kg/cm². El promedio final de soporte es de 209.96 kg/cm², lo que sugiere una resistencia notable a la compresión en las muestras de concreto con 24% de puzolana, manteniéndose dentro de un rango estrecho de variación.

Figura 24

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 24%



La gráfica presenta los resultados obtenidos al evaluar las propiedades del concreto con una mezcla que contiene 24% de puzolana. Se observa un comportamiento estable en los diferentes Muestras, con valores de soporte que varían ligeramente entre 207.66 y 212.72 kg/cm². El promedio final de soporte es de 209.96 kg/cm², destacando la consistencia y capacidad de resistencia a la compresión del concreto con esta proporción de puzolana. Esta distribución de valores sugiere un rendimiento sólido y uniforme a lo largo de las muestras analizadas.

Pruebas de resistencia a la compresión concreto convencional 28vo día

Tabla 21

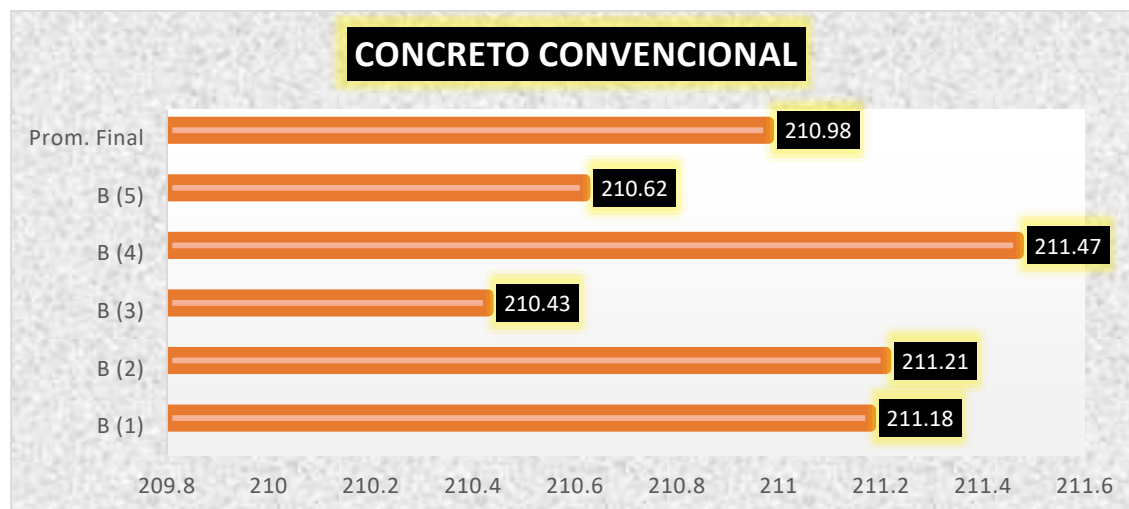
Recopilación de resistencia a compresión del concreto base

Exposición (compresión)	Carga (kg)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Días de curado
B.1	37369	211.18		
B.2	37374	211.21		
B.3	37235	210.43	210	28
B.4	37270	211.47		
B.5	37269	210.62		
	Prom. Final	210.98		

La tabla presenta los resultados obtenidos de las muestras de concreto base sometidas a pruebas de resistencia a las fuerzas compresivas. Se indican las cinco exposiciones (B.1 a B.5) con los valores de carga aplicada en kilogramos y la resistencia obtenida en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm²). Los valores del soporte oscilan entre 210.43 y 211.47 kg/cm², con un promedio final de 210.98 kg/cm². Además, se especifica que todas las muestras fueron sometidas a un proceso de curado de 28 días, y se incluye un valor de diseño de 210 kg/cm², lo que sugiere una referencia de diseño para la comparación de los resultados obtenidos.

Figura 25

Datos recabados a partir de una muestra estándar



Esta gráfica muestra los resultados de la resistencia a las fuerzas compresivas de varias muestras de concreto convencional, las cuales fueron sometidas a pruebas. Los datos corresponden a diferentes Muestras (Muestra 1 a Muestra 5) y se comparan con el promedio final de la resistencia del concreto. Los valores de resistencia oscilan entre 210.43 y 211.47 kg/cm², con el promedio final de 210.98 kg/cm². La gráfica también indica que los resultados están representados por barras naranjas y azules, evidenciando las mediciones de cada Muestra y destacando el rango de resistencia alcanzado en todas las muestras de concreto.

Pruebas de compresión en muestras con puzolana 8%

Tabla 22

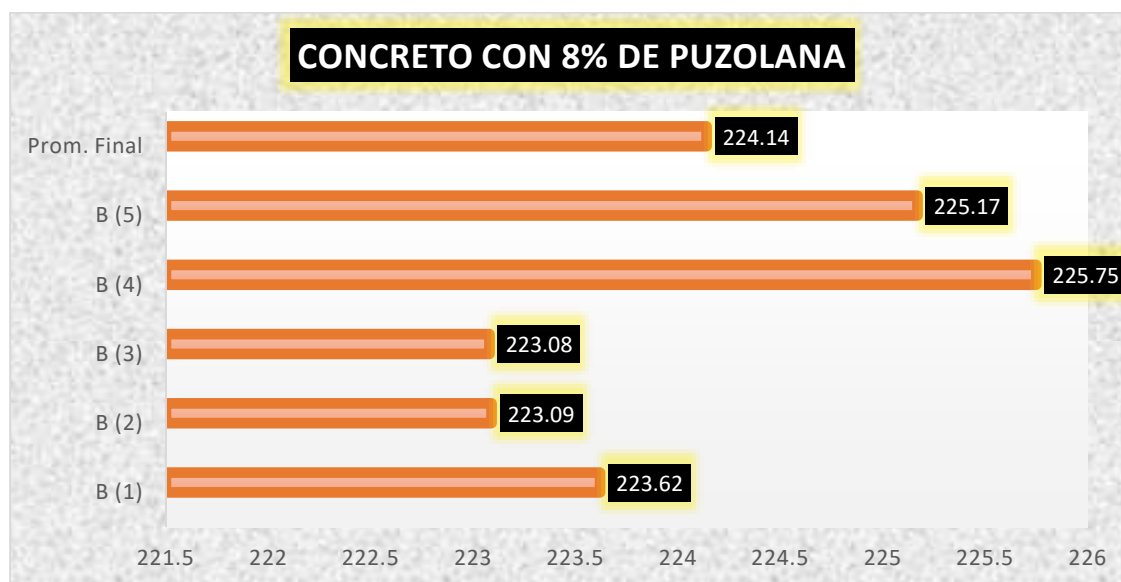
Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 8%

Exposición (compresión)	Carga (kg)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Días de curado
B1	39569	223.62	210	28
B2	39475	223.09		
B3	39474	223.08		
B4	39786	225.75		
B5	39843	225.17		
Prom. Final		224.14		

La tabla presenta los resultados de la resistencia a la compresión de concreto con la adición de un 8% de puzolana. Se incluyen cinco muestras, cada una con su respectiva carga y soporte medido en kg/cm^2 . Las cargas van desde 39,474 kg hasta 39,843 kg, mientras que los valores de soporte oscilan entre $223.08 \text{ kg}/\text{cm}^2$ y $225.75 \text{ kg}/\text{cm}^2$. El promedio final de soporte es de $224.14 \text{ kg}/\text{cm}^2$. La tabla también especifica los días de curado, que son 7 días para todas las muestras. Estos datos ofrecen una visión detallada de la efectividad del concreto con puzolana al resistir fuerzas compresivas.

Figura 26

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 8%



La gráfica muestra los resultados obtenidos de una muestra estándar de concreto con 8% de puzolana. En ella, se puede observar el valor promedio final de soporte, que es de $224.14 \text{ kg}/\text{cm}^2$, y los valores de soporte de las diferentes muestras, las cuales van desde $223.08 \text{ kg}/\text{cm}^2$ hasta $225.75 \text{ kg}/\text{cm}^2$. Los datos están representados de manera visual, con barras horizontales que ilustran las variaciones en el soporte para cada muestra. La gráfica facilita la comparación entre los diferentes Muestras, destacando la consistencia y resistencia del concreto con la adición de puzolana en su formulación.

Pruebas de compresión en muestras con puzolana 16%

Tabla 23

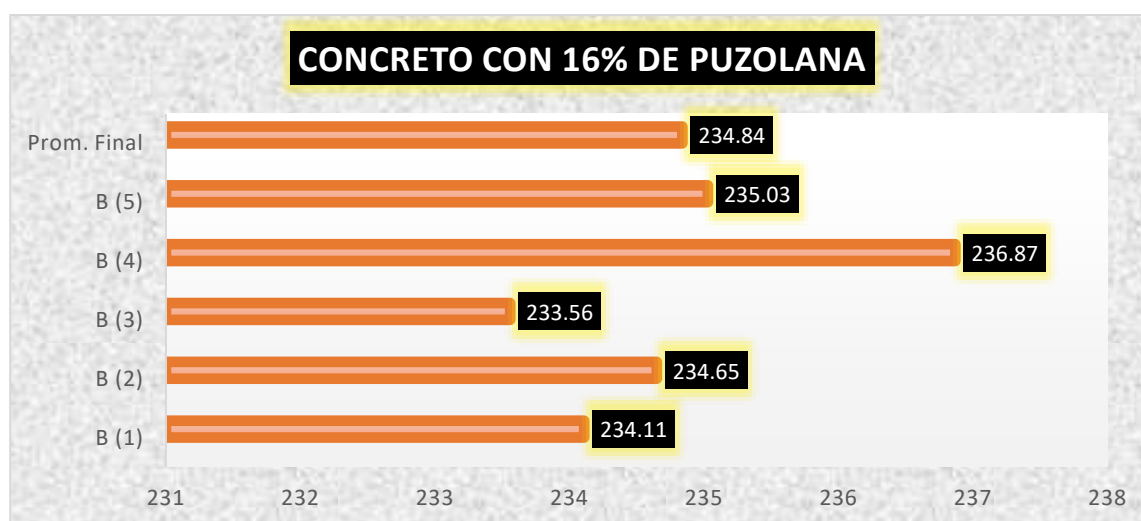
Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 16%

Exposición (compresión)	Carga (kg)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Días de curado
B1	41426	234.11	210	28
B2	41521	234.65		
B3	41328	233.56		
B4	41746	236.87		
B5	41589	235.03		
Prom. Final		234.84		

La tabla muestra la recopilación de datos sobre el soporte a fuerzas compresivas del concreto con un 16% de puzolana. Se presentan las cargas y los soportes obtenidos en kg/cm² para cinco muestras diferentes (B1 a B5). El valor promedio final del soporte es de 234.84 kg/cm². Las muestras varían en su rendimiento, con un valor máximo de soporte de 236.87 kg/cm² en la muestra B4 y el valor mínimo de 233.56 kg/cm² en la muestra B3. Estos datos reflejan la capacidad de soporte del concreto con adición de puzolana al 16%, lo que puede influir en su resistencia y durabilidad.

Figura 27

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 16%



La gráfica muestra los resultados obtenidos de las fuerzas compresivas del concreto con un 16% de puzolana. Los datos se presentan en barras horizontales que reflejan el soporte de las muestras (de Muestra 1 a Muestra 5) junto con el promedio final. El valor promedio es de 234.84 kg/cm², con la muestra "Muestra (4)" obteniendo el valor más alto de 236.87 kg/cm². Las otras muestras fluctúan entre 233.56 y 236.87 kg/cm², indicando un buen comportamiento en términos de soporte a compresión para este tipo de concreto modificado con puzolana.

Pruebas de compresión en muestras con puzolana 24%

Tabla 24

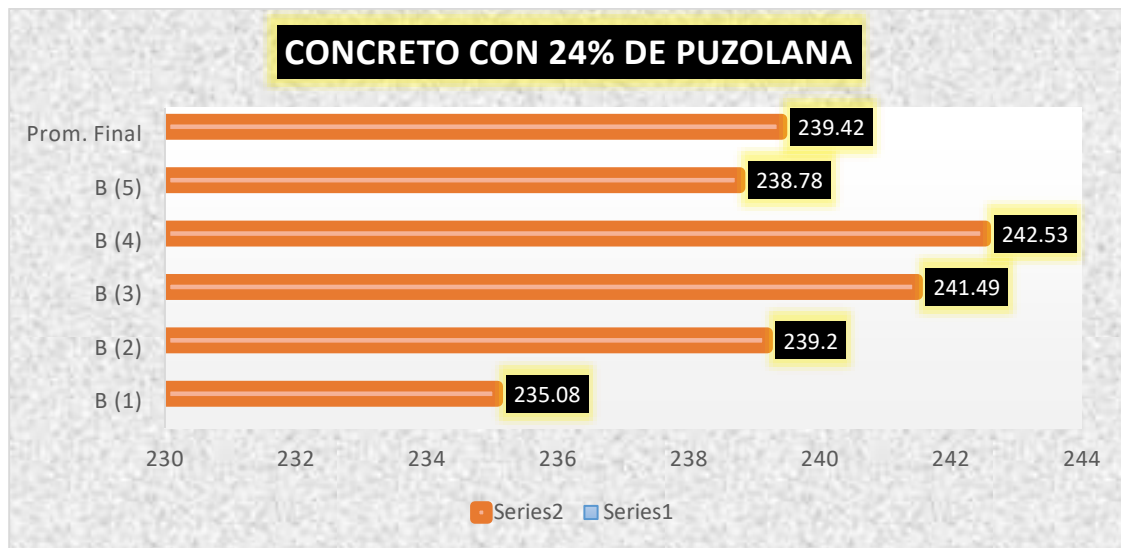
Recopilación de resistencia a compresión del concreto + puzolana 24%

Exposición (compresión)	Carga (kg)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Días de curado
B1	41598	235.08		
B2	42157	239.20		
B3	42732	241.49	210	28
B4	42915	242.53		
B5	42253	238.78		
	Prom. Final	239.42		

La tabla muestra los resultados obtenidos al evaluar las fuerzas compresivas del concreto con 24% de puzolana. Se presentan cinco muestras (B1 a B5), donde se indican la carga aplicada, el soporte (en kg/cm²) y los días de curado. Los valores de soporte oscilan entre 235.08 kg/cm² y 242.53 kg/cm². El promedio final de soporte es de 239.42 kg/cm², lo que sugiere una resistencia notable a la compresión en las muestras de concreto con 24% de puzolana, manteniéndose dentro de un rango estrecho de variación.

Figura 28

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 24%



La gráfica presenta los resultados obtenidos al evaluar las propiedades del concreto con una mezcla que contiene 24% de puzolana. Se observa un comportamiento estable en los diferentes Muestras, con valores de soporte que varían ligeramente entre 235.08 y 242.53 kg/cm². El promedio final de soporte es de 239.42 kg/cm², destacando la consistencia y capacidad de resistencia a la compresión del concreto con esta proporción de puzolana. Esta distribución de valores sugiere un rendimiento sólido y uniforme a lo largo de las muestras analizadas.

Cuadros de comparación de las muestras (Compresión)

Tabla 25

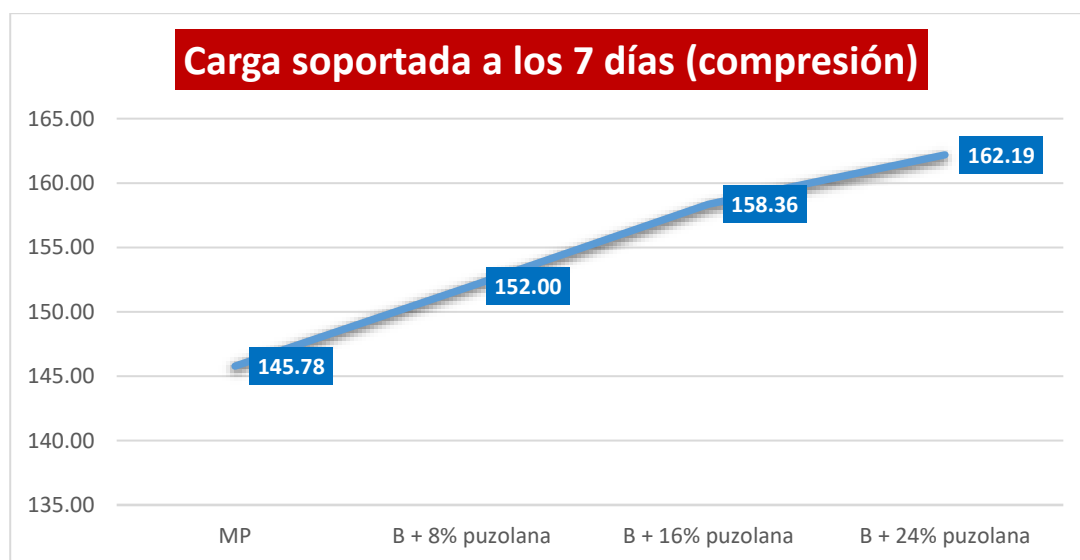
Comparación de resistencias promedio a los 7 días de curado

(KG/CM2) compres. 7mo día	
Testigos	
MP	145.78
B + 8% puzolana	152.00
B + 16% puzolana	158.36
B + 24% puzolana	162.19

La tabla muestra los resultados obtenidos de la medición de la resistencia a la compresión de los diferentes tipos de concreto a los 7 días de curado. El concreto convencional (MP) alcanzó un soporte de 145.78 kg/cm². Con la adición de puzolana en distintas concentraciones, el concreto mostró una mejora en la resistencia: 152.00 kg/cm² con 8% de puzolana, 158.36 kg/cm² con 16% de puzolana y 162.19 kg/cm² con 24% de puzolana. Estos datos indican que la incorporación de puzolana aumenta progresivamente la resistencia del concreto.

Figura 29

Evolución de los testigos al 7mo día



A lo largo de siete días de curado, se observó una clara mejora en la capacidad de soporte del concreto con la adición de puzolana. El concreto convencional (MP) presentó una resistencia de 145.78 kg/cm², mientras que al añadir un 8% de puzolana, la resistencia subió a 152.00 kg/cm². Con un 16% de puzolana, la resistencia alcanzó los 158.36 kg/cm², y con un 24% de puzolana, llegó a 162.19 kg/cm². Este patrón de aumento demuestra cómo la incorporación de puzolana incrementa de manera significativa la resistencia a la compresión del concreto, destacándose como una mejora efectiva en su desempeño.

Tabla 26

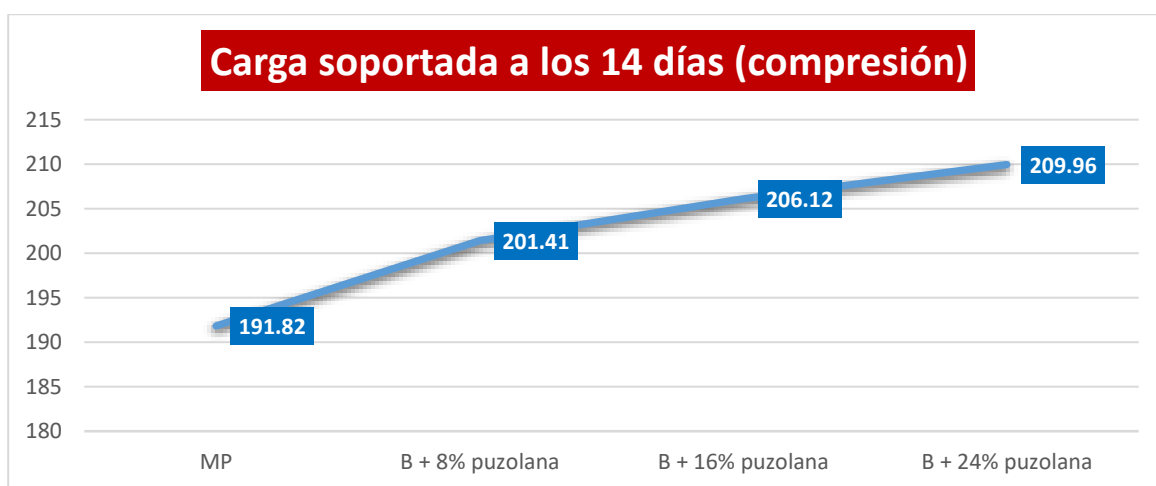
Comparación de resistencias promedio a los 14 días de curado

(KG/CM2) compres. 14vo día	
Testigos	
MP	191.82
B + 8% puzolana	201.41
B + 16% puzolana	206.12
B + 24% puzolana	209.96

Los resultados obtenidos al medir la compresión en el día 14 mostraron que la muestra de concreto convencional (MP) soportó una carga de 191.82 kg/cm². Al agregar el 8% de puzolana, la carga soportada aumentó a 201.41 kg/cm², mientras que al incorporar un 16% de puzolana, se alcanzó una resistencia de 206.12 kg/cm². Finalmente, con un 24% de puzolana, la carga máxima soportada fue de 209.96 kg/cm², evidenciando un incremento continuo en la resistencia con la inclusión de puzolana en las mezclas.

Figura 30

Evolución de los testigos al 14vo día



Para la medición realizada en el día 14, se observó un aumento progresivo en la carga soportada por las muestras de concreto con adición de puzolana en comparación con la mezcla tradicional (MP). En la mezcla de concreto con 8% de puzolana, la carga alcanzó los 201.41 kg/cm², mientras que la muestra con 16% de puzolana mostró una carga de

206.12 kg/cm². Finalmente, la mezcla con 24% de puzolana soportó una carga de 209.96 kg/cm², destacándose una mejora sustancial con el aumento de la proporción de puzolana, lo que evidencia el efecto positivo de este material en la resistencia del concreto a compresión en el transcurso de los primeros 14 días de curado.

Tabla 27

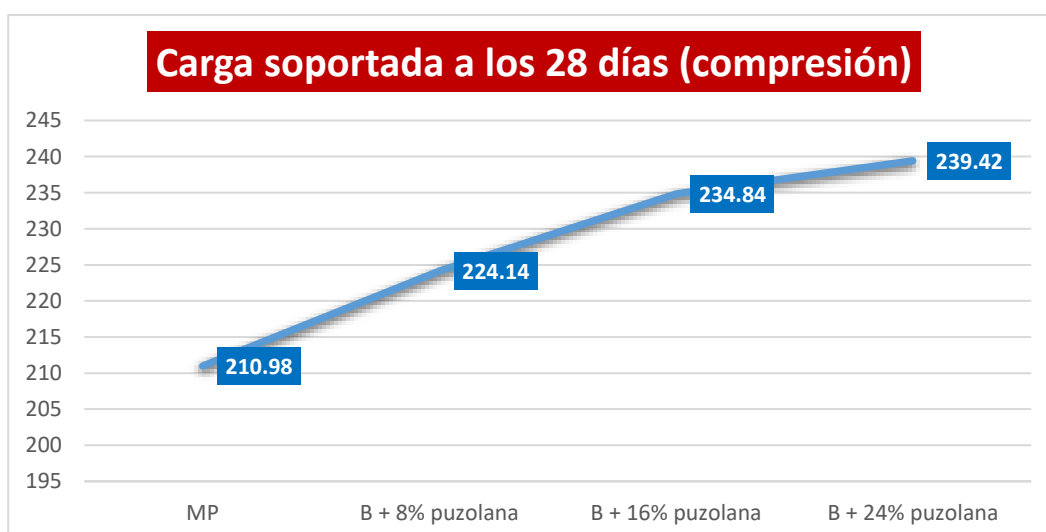
Comparación de resistencias promedio a los 28 días de curado

(KG/CM2) compres. 28vo día	
Testigos	
MP	210.98
B + 8% puzolana	224.14
B + 16% puzolana	234.84
B + 24% puzolana	239.42

Los resultados obtenidos al medir la compresión en el día 28 mostraron que la muestra de concreto convencional (MP) soportó una carga de 210.98 kg/cm². Al agregar el 8% de puzolana, la carga soportada aumentó a 224.14 kg/cm², mientras que al incorporar un 16% de puzolana, se alcanzó una resistencia de 234.84 kg/cm². Finalmente, con un 24% de puzolana, la carga máxima soportada fue de 239.42 kg/cm², evidenciando un incremento continuo en la resistencia con la inclusión de puzolana en las mezclas.

Figura 31

Evolución de los testigos al 28vo día



Para la medición realizada en el día 28, se observó un aumento progresivo en la carga soportada por las muestras de concreto con adición de puzolana en comparación con la mezcla tradicional (MP). En la mezcla de concreto con 8% de puzolana, la carga alcanzó los 210.98 kg/cm², mientras que la muestra con 16% de puzolana mostró una carga de 224.14 kg/cm². Finalmente, la mezcla con 24% de puzolana soportó una carga de 239.42 kg/cm², destacándose una mejora sustancial con el aumento de la proporción de puzolana, lo que evidencia el efecto positivo de este material en la resistencia del concreto a compresión en el transcurso de los primeros 14 días de curado.

Tabla 28

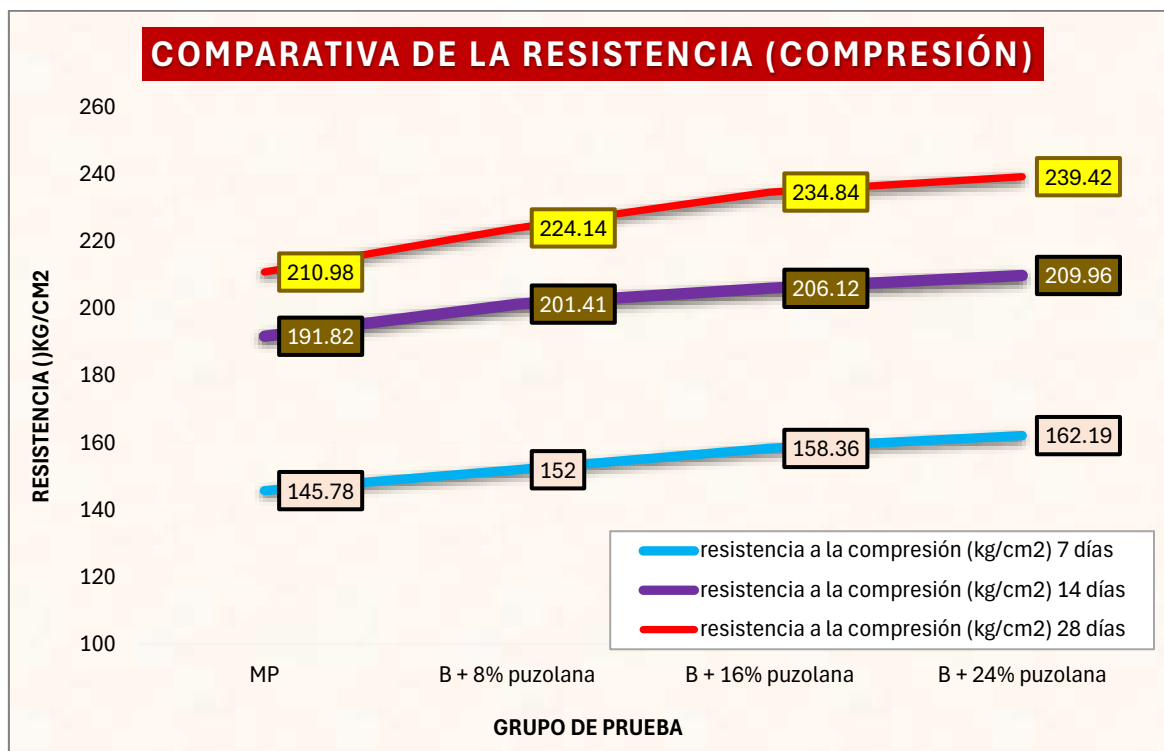
Resumen de resistencias a compresión promedio a diferentes edades de curado

Resumen comparativo de resistencia a compresión			
Muestra	7 días (kg/cm ²)	14 días (kg/cm ²)	28 días (kg/cm ²)
MP	145.78	191.82	210.98
B + 8% puzolana	152.00	201.41	224.14
B + 16% puzolana	158.36	206.12	234.84
B + 24% puzolana	162.19	209.96	239.42

A lo largo del periodo de observación, que abarcó los días 7, 14 y 28, las muestras de concreto con adición de puzolana mostraron una evolución significativa en su resistencia a la compresión en comparación con la muestra sin aditivos. En el séptimo día, el concreto con 8% de puzolana alcanzó una resistencia de 152.00 kg/cm², mientras que la mezcla con 16% de puzolana mostró un valor de 158.36 kg/cm², y la mezcla con 24% de puzolana obtuvo 162.19 kg/cm². Para el día 14, las resistencias aumentaron a 201.41 kg/cm², 206.12 kg/cm² y 209.96 kg/cm², respectivamente. Finalmente, a los 28 días, las muestras con 8%, 16% y 24% de puzolana alcanzaron resistencias de 224.14 kg/cm², 234.84 kg/cm² y 239.42 kg/cm², mostrando una mejora continua a medida que aumentaba la cantidad de puzolana utilizada, lo que refleja el impacto positivo de este material en el fortalecimiento del concreto con el tiempo.

Figura 32

Proceso de evolución de los testigos con variada dosificación



La comparación de muestras de concreto con diferentes porcentajes de puzolana revela un aumento notable en la resistencia a la compresión con el tiempo. La resistencia de la muestra libre de MP durante los primeros siete días fue de 145.78 kg/cm², mientras que la combinación con 24% de Puzolana tenía una resistencia de 162.19 kg/cm². Las muestras con 8%, 16% y 24% de puzolana tenían resistencias de 201.41 kg/cm², 206.12 kg/cm² y 209.96 kg/cm², respectivamente, después de catorce días. A los 28 días, las muestras que contenían la mayor cantidad de puzolana (24% y 16%, respectivamente) tenían la mayor resistencia (239.42 kg/cm²). Además, la resistencia de estas muestras aumentó significativamente, alcanzando valores de 234.84 kg/cm² y 224.14 kg/cm². Este estudio muestra cómo las propiedades mecánicas del concreto mejoran gradualmente con el tiempo mediante la adición de Puzolana.

4.1.3 Capacidades a flexión del concreto, datos relativos

La capacidad de flexión del concreto se refiere a su capacidad para soportar cargas que causan flexión. Este comportamiento es crucial para la evaluación estructural de elementos como vigas, losas y otros componentes sometidos a fuerzas que actúan perpendicularmente en lugar de axialmente, lo que lleva a tensiones de compresión en una cara y tensiones de tensión en la cara opuesta. La capacidad de flexionar generalmente se evalúa mediante pruebas como la flexión del haz, donde se aplica una carga central hasta la falla del material, lo que permite la evaluación de la resistencia máxima del concreto a las presiones de flexión.

Los datos comparativos sobre las propiedades de flexión del concreto son cruciales para el diseño de estructuras destinadas a soportar cargas dinámicas o distribuidas, como puentes o edificios. Estos datos permiten el examen del comportamiento concreto en diversas condiciones de carga, específicamente con variaciones en los tipos de mezcla, la adición de aditivos o la introducción de componentes complementarios como fibras o puzolán. Un análisis extenso de estos datos permite el pronóstico del rendimiento estructural y garantiza su seguridad y durabilidad a lo largo del tiempo.

Pruebas de resistencia concreto convencional (flexión)

Tabla 29

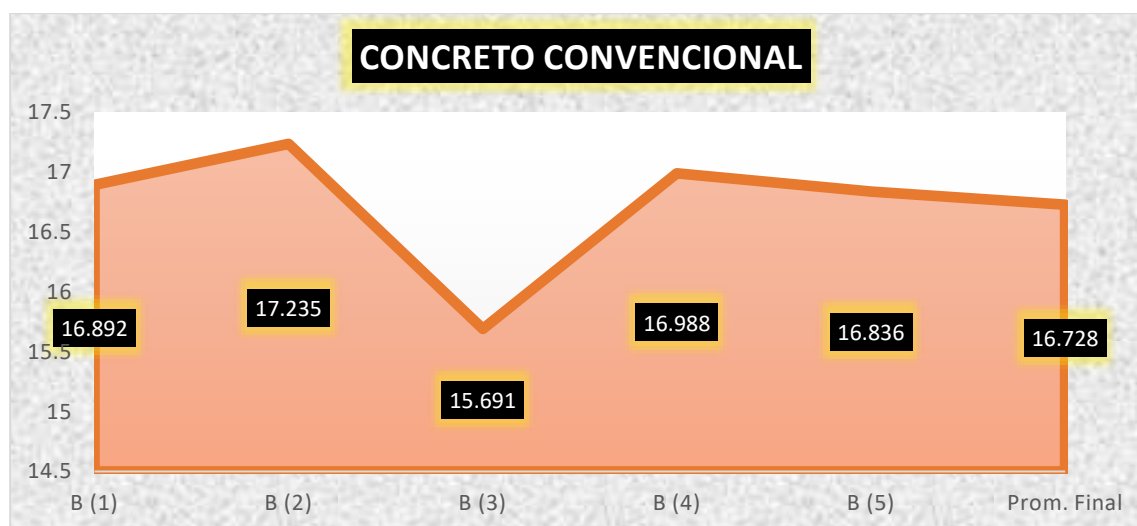
Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base

Exposición (flexión)	(lectura)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Día
B.1	1136.42	16.892		
B.2	1163.36	17.235		
B.3	1055.58	15.691	210	7
B.4	1142.85	16.988		
B.5	1136.45	16.836		
	Prom. Final	16.728		

La tabla presentada muestra los valores de soporte a fuerzas de flexión para muestras de concreto base, obtenidos en una serie de pruebas. Cada fila representa una exposición a flexión, indicada por códigos como B.1, B.2, etc., con las correspondientes lecturas en términos de resistencia a la flexión (en kg/cm^2) registradas en diferentes días. Los valores de soporte, que varían entre 16.691 y 17.235 kg/cm^2 , se corresponden con las mediciones de flexión realizadas en el séptimo día de exposición. Además, se muestra el valor promedio de resistencia a la flexión, que es 16.728 kg/cm^2 , lo que proporciona una idea general de la capacidad de los elementos de concreto bajo cargas de flexión.

Figura 33

Datos recabados a partir de una muestra estándar (flexión)



En este gráfico se muestran los datos de flexión recabados de una muestra estándar de concreto convencional. Los valores obtenidos para las cinco muestras (M 1 a M 5) varían entre 15.691 y 17.235 kg/cm^2 . La muestra M 2 es la que presenta la mayor resistencia a la flexión, con un valor de 17.235 kg/cm^2 , mientras que la muestra M 3 muestra la menor resistencia, con 15.691 kg/cm^2 . El promedio final de todas las mediciones es de 16.728 kg/cm^2 , lo que refleja la consistencia general del concreto convencional bajo las condiciones de prueba.

Pruebas en muestras con puzolana 8% (flexión)

Tabla 30

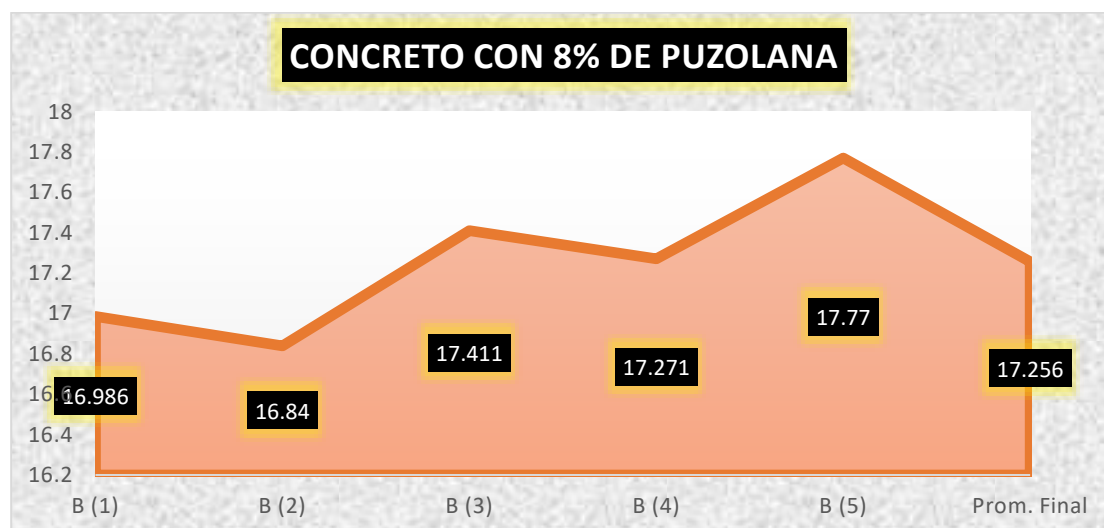
Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 8%

Exposición (flexión)	(lectura)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Día
B1	1142.75	16.986		
B2	1136.69	16.840		
B3	1175.25	17.411	210	7
B4	1165.78	17.271		
B5	1199.45	17.770		
Prom. Final		17.256		

Este conjunto de datos presenta las mediciones de flexión del concreto base y 8% de puzolana, realizadas en varias muestras (B1 a B5). Los valores de soporte oscilan entre 16.840 kg/cm² en la muestra B2 y 17.770 kg/cm² en la muestra B5, con una tendencia creciente a medida que aumentan los números de las muestras. La muestra B5, con una resistencia de 17.770 kg/cm², muestra la mayor capacidad de flexión. El promedio final de todas las mediciones de flexión es de 17.256 kg/cm², indicando una resistencia sólida y constante en todas las muestras evaluadas.

Figura 34

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 8% (flexión)



En este gráfico, se presentan los datos de flexión para el concreto con 8% de puzolana, obtenidos a partir de una muestra estándar. Los valores de resistencia a flexión muestran un comportamiento creciente a medida que avanzan las mediciones, comenzando con 16.986 kg/cm² en la muestra M1 y alcanzando los 17.77 kg/cm² en la muestra M5. La resistencia promedio final de todas las muestras evaluadas es de 17.256 kg/cm², lo que refleja una mejora constante en la capacidad de flexión del concreto con la adición de puzolana, destacándose la estabilidad y el aumento progresivo de la resistencia a medida que aumenta el número de muestras.

Pruebas en muestras con puzolana 16% (flexión)

Tabla 31

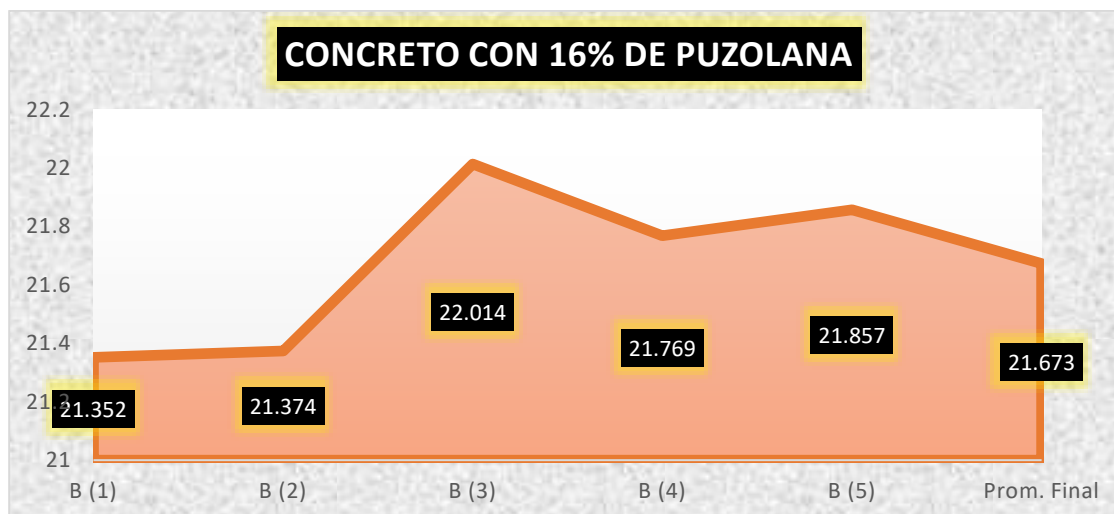
Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 16%

Exposición (flexión)	(lectura)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Día
B1	1436.43	21.352		
B2	1442.75	21.374		
B3	1485.96	22.014	210	7
B4	1469.42	21.769		
B5	1475.36	21.857		
	Prom. Final	21.673		

En esta tabla, se presentan los resultados de flexión para el concreto con 16% de puzolana. Los valores de resistencia a flexión muestran un comportamiento constante, con las muestras iniciales (B1 y B2) mostrando resistencias alrededor de los 21.35 kg/cm². Posteriormente, se observa un incremento notable, alcanzando un valor de 22.014 kg/cm² en la muestra B3. El valor más alto se registra en la muestra B5, con 21.857 kg/cm², lo que refuerza la tendencia de mejora progresiva en la capacidad de flexión del concreto al incorporar 16% de puzolana. La resistencia promedio final de estas muestras es de 21.673 kg/cm².

Figura 35

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 16% (flexión)



En el gráfico, se presentan los datos obtenidos de una muestra estándar de concreto con 16% de puzolana en términos de resistencia a flexión. Al inicio, las mediciones de las muestras (M1 y M2) indican una resistencia cercana a los 21.35 kg/cm². Sin embargo, a partir de la muestra M3, se observa un incremento notable, alcanzando 22.014 kg/cm² en M3, lo que refleja una mejora en la resistencia. A pesar de una ligera disminución en las siguientes mediciones (M4 y M5), los valores se mantienen relativamente estables, con un promedio final de 21.673 kg/cm², destacando la influencia positiva de la puzolana en la resistencia a flexión del concreto.

Pruebas en muestras con puzolana 24% (flexión)

Tabla 32

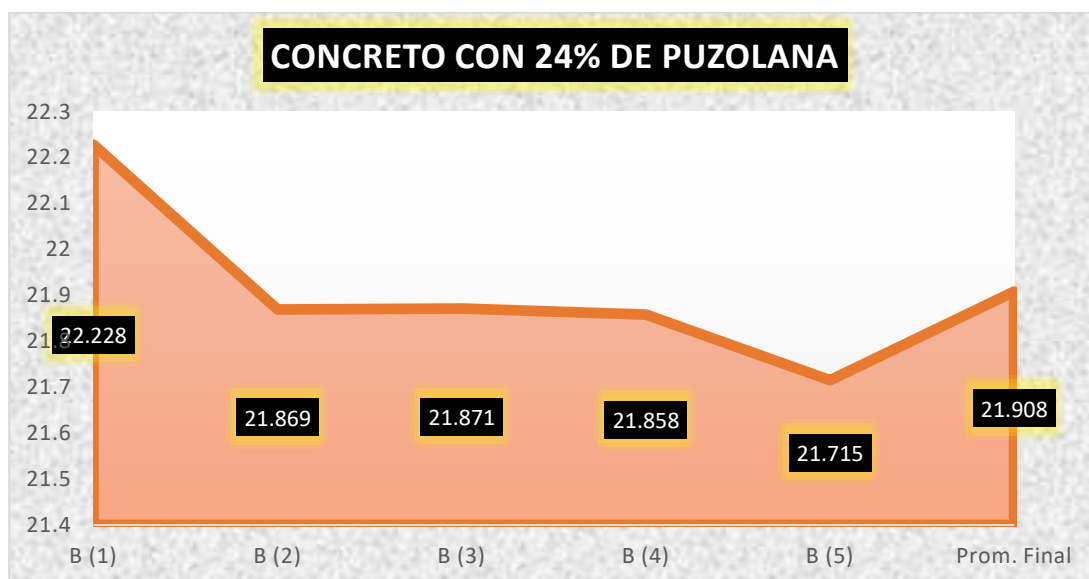
Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 24%

Exposición (flexión)	(lectura)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Día
B1	1495.36	22.228	210	7
B2	1476.17	21.869		
B3	1476.28	21.871		
B4	1475.39	21.858		
B5	1465.74	21.715		
Prom. Final		21.908		

En la tabla proporcionada, se recogen los valores de resistencia a flexión de un concreto base con 24% de puzolana. Se observa que las muestras (B1 a B5) tienen una resistencia creciente, comenzando con 22.228 kg/cm² en la muestra B1 y ligeramente descendiendo hasta 21.715 kg/cm² en la última muestra (B5). A lo largo de las mediciones, el concreto mantiene una resistencia consistente, con una ligera variación entre las muestras, alcanzando un valor promedio final de 21.908 kg/cm², lo que indica un comportamiento estable de la mezcla con alta resistencia a flexión durante los 7 días de exposición.

Figura 36

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 24% (flexión)



En el gráfico, se presentan los resultados de flexión para concreto con 24% de puzolana, destacándose las variaciones de resistencia de las muestras M1 a M5. La resistencia a flexión comienza en 22.228 kg/cm² en la muestra M1 y presenta una ligera disminución en las muestras sucesivas, alcanzando 21.715 kg/cm² en M5. El valor promedio final es de 21.908 kg/cm², lo que refleja una caída moderada en la resistencia del concreto a medida que se aumenta el contenido de puzolana, pero mantiene un rendimiento relativamente estable.

Pruebas realizadas sobre el concreto convencional 14vo día (flexión)

Tabla 33

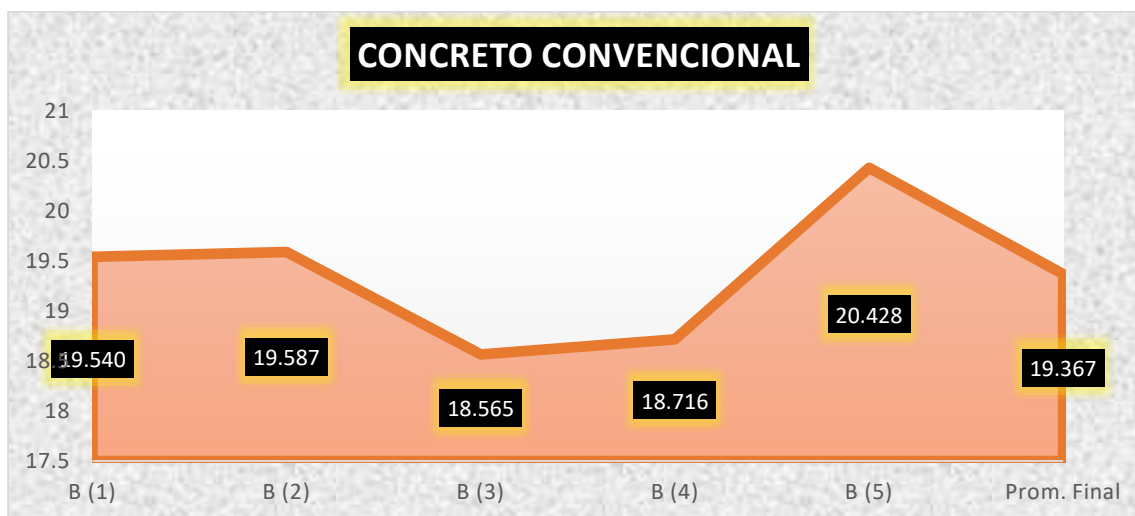
Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base

Exposición (flexión)	(lectura)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Día
B.1	1314.54	19.540	210	14
B.2	1322.12	19.587		
B.3	1253.13	18.565		
B.4	1263.36	18.716		
B.5	1374.27	20.428		
Prom. Final		19.367		

La tabla presentada muestra los valores de soporte a fuerzas de flexión para muestras de concreto base, obtenidos en una serie de pruebas. Cada fila representa una exposición a flexión, indicada por códigos como B.1, B.2, etc., con las correspondientes lecturas en términos de resistencia a la flexión (en kg/cm²) registradas en diferentes días. Los valores de soporte, que varían entre 18.565 y 20.428 kg/cm², se corresponden con las mediciones de flexión realizadas en el séptimo día de exposición. Además, se muestra el valor promedio de resistencia a la flexión, que es 19.367 kg/cm², lo que proporciona una idea general de la capacidad de los elementos de concreto bajo cargas de flexión.

Figura 37

Datos recabados a partir de una muestra estándar (flexión)



En este gráfico se muestran los datos de flexión recabados de una muestra estándar de concreto convencional. Los valores obtenidos para las cinco muestras (M 1 a M 5) varían entre 18.565 y 20.428 kg/cm². La muestra M 5 es la que presenta la mayor resistencia a la flexión, con un valor de 20.428 kg/cm², mientras que la muestra M 3 muestra la menor resistencia, con 18.565 kg/cm². El promedio final de todas las mediciones es de 19.367 kg/cm², lo que refleja la consistencia general del concreto convencional bajo las condiciones de prueba.

Pruebas en muestras con puzolana 8% (flexión)

Tabla 34

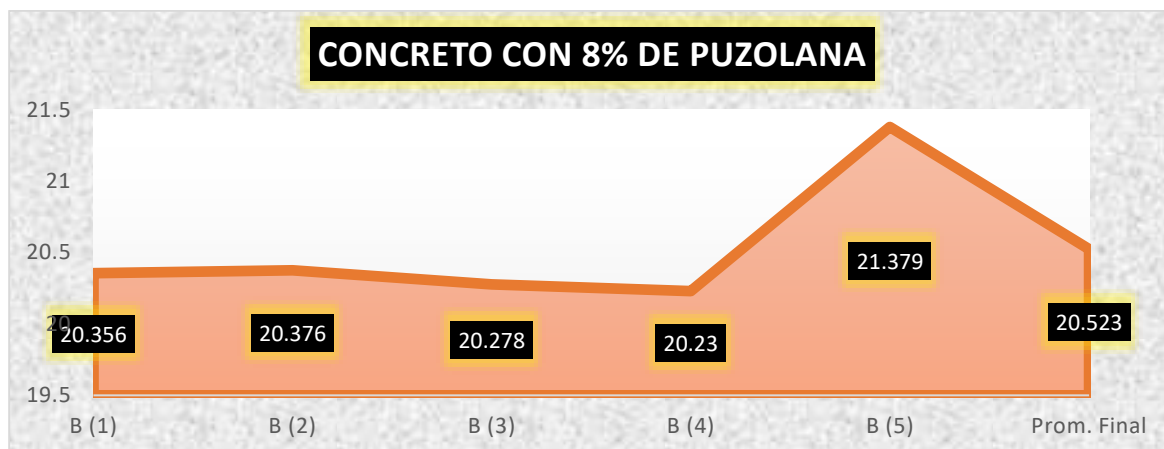
Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 8%

Exposición (flexión)	(lectura)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Día
B1	1369.42	20.356		
B2	1375.36	20.376		
B3	1368.74	20.278	210	14
B4	1365.53	20.230		
B5	1443.05	21.379		
	Prom. Final	20.523		

Este conjunto de datos presenta las mediciones de flexión del concreto base y 8% de puzolana, realizadas en varias muestras (B1 a B5). Los valores de soporte oscilan entre 20.278 kg/cm² en la muestra B3 y 21.379 kg/cm² en la muestra B5, con una tendencia creciente a medida que aumentan los números de las muestras. La muestra B5, con una resistencia de 21.379 kg/cm², muestra la mayor capacidad de flexión. El promedio final de todas las mediciones de flexión es de 20.523 kg/cm², indicando una resistencia sólida y constante en todas las muestras evaluadas.

Figura 38

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 8% (flexión)



En este gráfico, se presentan los datos de flexión para el concreto con 8% de puzolana, obtenidos a partir de una muestra estándar. Los valores de resistencia a flexión muestran un comportamiento creciente a medida que avanzan las mediciones, comenzando con 20.356 kg/cm² en la muestra M1 y alcanzando los 21.379 kg/cm² en la muestra M5. La resistencia promedio final de todas las muestras evaluadas es de 20.523 kg/cm², lo que refleja una mejora constante en la capacidad de flexión del concreto con la adición de puzolana, destacándose la estabilidad y el aumento progresivo de la resistencia a medida que aumenta el número de muestras.

Pruebas en muestras con puzolana 16% (flexión)

Tabla 35

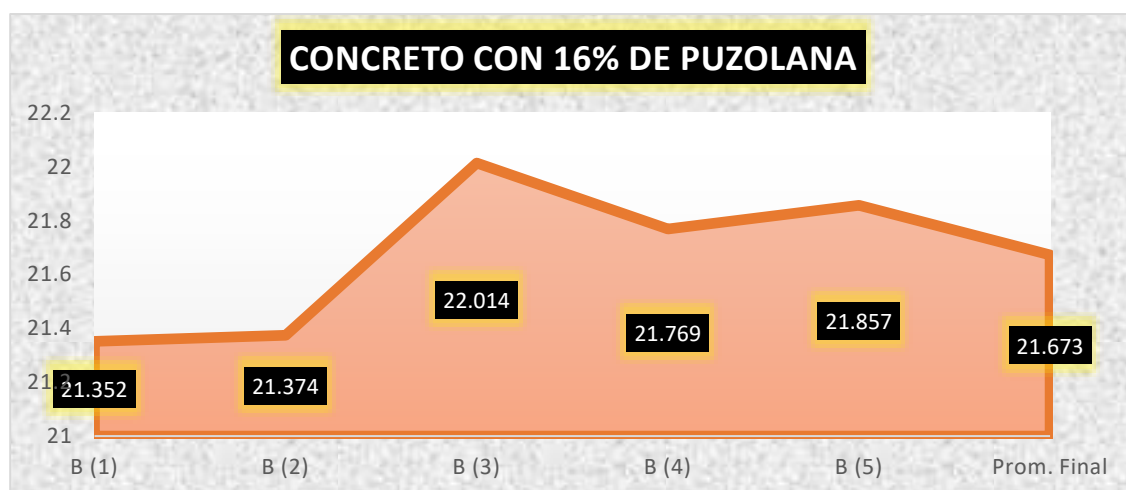
Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 16%

Exposición (flexión)	(lectura)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Día
B1	1436.43	21.352		
B2	1442.75	21.374		
B3	1485.96	22.014	210	14
B4	1469.42	21.769		
B5	1475.36	21.857		
Prom. Final		21.673		

En esta tabla, se presentan los resultados de flexión para el concreto con 16% de puzolana. Los valores de resistencia a flexión muestran un comportamiento constante, con las muestras iniciales (B1 y B2) mostrando resistencias alrededor de los 21.35 kg/cm². Posteriormente, se observa un incremento notable, alcanzando un valor de 22.014 kg/cm² en la muestra B3. El valor más alto se registra en la muestra B5, con 21.857 kg/cm², lo que refuerza la tendencia de mejora progresiva en la capacidad de flexión del concreto al incorporar 16% de puzolana. La resistencia promedio final de estas muestras es de 21.673 kg/cm².

Figura 39

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 16% (flexión)



En el gráfico, se presentan los datos obtenidos de una muestra estándar de concreto con 16% de puzolana en términos de resistencia a flexión. Al inicio, las mediciones de las muestras (M1 y M2) indican una resistencia cercana a los 21.35 kg/cm². Sin embargo, a partir de la muestra M3, se observa un incremento notable, alcanzando 22.014 kg/cm² en M3, lo que refleja una mejora en la resistencia. A pesar de una ligera disminución en las siguientes mediciones (M4 y M5), los valores se mantienen relativamente estables, con un promedio final de 21.673 kg/cm², destacando la influencia positiva de la puzolana en la resistencia a flexión del concreto.

Pruebas en muestras con puzolana 24% (flexión)

Tabla 36

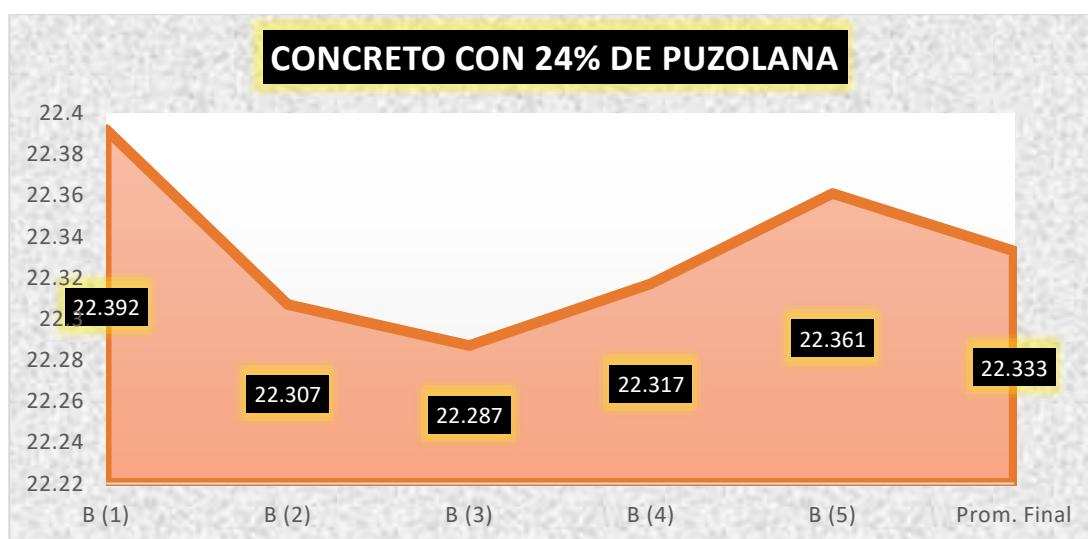
Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 24%

Exposición (flexión)	(lectura)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Día
B1	1506.39	22.392		
B2	1505.72	22.307		
B3	1504.37	22.287	210	14
B4	1506.42	22.317		
B5	1509.39	22.361		
Prom. Final		22.333		

En la tabla proporcionada, se recogen los valores de resistencia a flexión de un concreto base con 24% de puzolana. Se observa que las muestras (B1 a B5) tienen una resistencia creciente, comenzando con 22.392 kg/cm² en la muestra B1 y ligeramente descendiendo hasta 22.361 kg/cm² en la última muestra (B5). A lo largo de las mediciones, el concreto mantiene una resistencia consistente, con una ligera variación entre las muestras, alcanzando un valor promedio final de 22.333 kg/cm², lo que indica un comportamiento estable de la mezcla con alta resistencia a flexión durante los 14 días de exposición.

Figura 40

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 24% (flexión)



En el gráfico, se presentan los resultados de flexión para concreto con 24% de puzolana, destacándose las variaciones de resistencia de las muestras M1 a M5. La resistencia a flexión comienza en 22.392 kg/cm² en la muestra M1 y presenta una ligera disminución en las muestras sucesivas, alcanzando 22.361 kg/cm² en M5. El valor promedio final es de 22.333 kg/cm², lo que refleja una caída moderada en la resistencia del concreto a medida que se aumenta el contenido de puzolana, pero mantiene un rendimiento relativamente estable.

Pruebas sobre el concreto convencional 28vo día (flexión)

Tabla 37

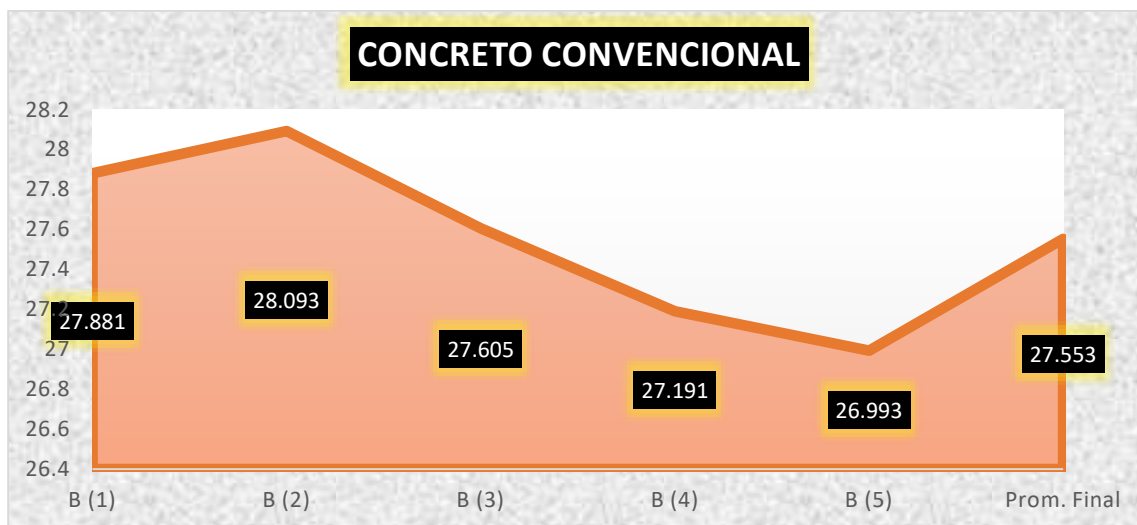
Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base

Exposición (flexión)	(lectura)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Día
B.1	1875.69	27.881		
B.2	1896.25	28.093		
B.3	1863.36	27.605	210	28
B.4	1835.42	27.191		
B.5	1822.05	26.993		
	Prom. Final	27.553		

La tabla presentada muestra los valores de soporte a fuerzas de flexión para muestras de concreto base, obtenidos en una serie de pruebas. Cada fila representa una exposición a flexión, indicada por códigos como B.1, B.2, etc., con las correspondientes lecturas en términos de resistencia a la flexión (en kg/cm²) registradas en diferentes días. Los valores de soporte, que varían entre 26.993 y 28.093 kg/cm², se corresponden con las mediciones de flexión realizadas en el séptimo día de exposición. Además, se muestra el valor promedio de resistencia a la flexión, que es 27.553 kg/cm², lo que proporciona una idea general de la capacidad de los elementos de concreto bajo cargas de flexión.

Figura 41

Datos recabados a partir de una muestra estándar (flexión)



En este gráfico se muestran los datos de flexión recabados de una muestra estándar de concreto convencional. Los valores obtenidos para las cinco muestras (M 1 a M 5) varían entre 26.993 y 28.093 kg/cm². La muestra M 2 es la que presenta la mayor resistencia a la flexión, con un valor de 28.093 kg/cm², mientras que la muestra M 5 muestra la menor resistencia, con un valor de 26.993 kg/cm². El promedio final de todas las mediciones es de 27.553 kg/cm², lo que refleja la consistencia general del concreto convencional bajo las condiciones de prueba.

Pruebas en muestras con puzolana 8% (flexión)

Tabla 38

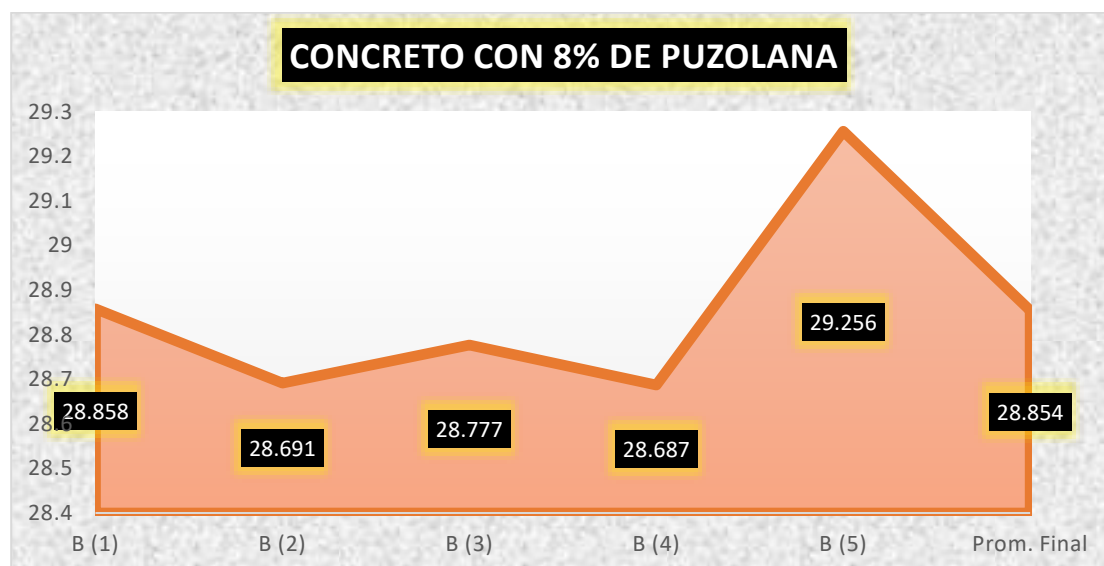
Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 8%

Exposición (flexión)	(lectura)	Soporte (kg/cm2)	Diseño	Día
B1	1941.42	28.858		
B2	1936.63	28.691		
B3	1942.46	28.777	210	28
B4	1936.36	28.687		
B5	1974.75	29.256		
Prom. Final		28.854		

Este conjunto de datos presenta las mediciones de flexión del concreto base y 8% de puzolana, realizadas en varias muestras (B1 a B5). Los valores de soporte oscilan entre 28.687 kg/cm² en la muestra B4 y 29.256 kg/cm² en la muestra B5, con una tendencia creciente a medida que aumentan los números de las muestras. La muestra B5, con una resistencia de 29.256 kg/cm², muestra la mayor capacidad de flexión. El promedio final de todas las mediciones de flexión es de 28.854 kg/cm², indicando una resistencia sólida y constante en todas las muestras evaluadas.

Figura 42

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 8% (flexión)



En este gráfico, se presentan los datos de flexión para el concreto con 8% de puzolana, obtenidos a partir de una muestra estándar. Los valores de resistencia a flexión muestran un comportamiento creciente a medida que avanzan las mediciones, comenzando con 28.858 kg/cm² en la muestra M1 y alcanzando los 29.256 kg/cm² en la muestra M5. La resistencia promedio final de todas las muestras evaluadas es de 28.854 kg/cm², lo que refleja una mejora constante en la capacidad de flexión del concreto con la adición de puzolana, destacándose la estabilidad y el aumento progresivo de la resistencia a medida que aumenta el número de muestras.

Pruebas en muestras con puzolana 16% (flexión)

Tabla 39

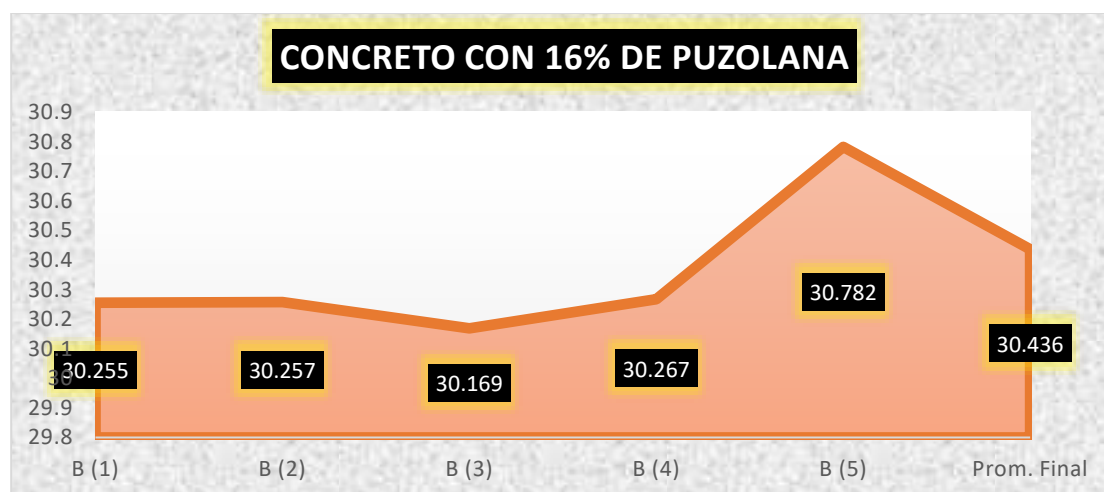
Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 16%

Exposición (flexión)	(lectura)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Día
B1	2035.42	30.255		
B2	2042.36	30.257		
B3	2036.42	30.169	210	28
B4	2042.99	30.267		
B5	2077.78	30.782		
Prom. Final		30.436		

En esta tabla, se presentan los resultados de flexión para el concreto con 16% de puzolana. Los valores de resistencia a flexión muestran un comportamiento constante, con las muestras iniciales (B1 y B2) mostrando resistencias alrededor de los 30.169 kg/cm². Posteriormente, se observa un incremento notable, alcanzando un valor de 30.782 kg/cm² en la muestra B5. El valor más alto se registra en la muestra B5, con 30.782 kg/cm², lo que refuerza la tendencia de mejora progresiva en la capacidad de flexión del concreto al incorporar 16% de puzolana. La resistencia promedio final de estas muestras es de 30.436 kg/cm².

Figura 43

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 16% (flexión)





En el gráfico, se presentan los datos obtenidos de una muestra estándar de concreto con 16% de puzolana en términos de resistencia a flexión. Al inicio, las mediciones de las muestras (M1 y M2) indican una resistencia cercana a los 30.250 kg/cm². Sin embargo, a partir de la muestra M3, se observa un incremento notable, alcanzando 30.782 kg/cm² en M5, lo que refleja una mejora en la resistencia. A pesar de una ligera disminución en las siguientes mediciones (M4 y M5), los valores se mantienen relativamente estables, con un promedio final de 30.436 kg/cm², destacando la influencia positiva de la puzolana en la resistencia a flexión del concreto.

Pruebas en muestras con puzolana 24% (flexión)

Tabla 40

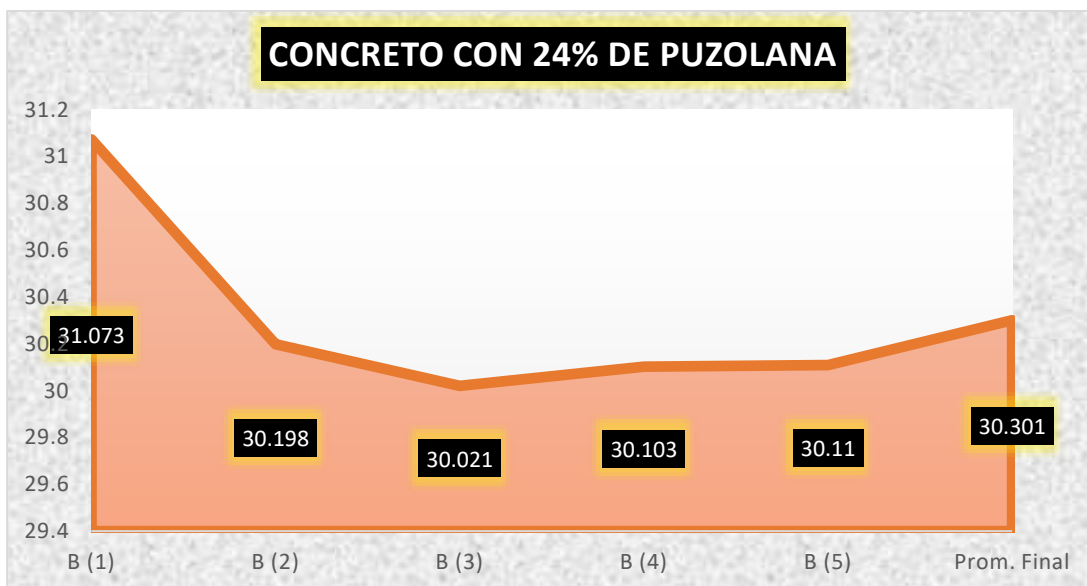
Recopilación de soporte a fuerzas de flexión, concreto base + puzolana 24%

Exposición (flexión)	(lectura)	Soporte (kg/cm ²)	Diseño	Día
B1	2090.43	31.073		
B2	2038.39	30.198		
B3	2026.42	30.021	210	28
B4	2031.96	30.103		
B5	2032.42	30.110		
	Prom. Final	30.301		

En la tabla proporcionada, se recogen los valores de resistencia a flexión de un concreto base con 24% de puzolana. Se observa que las muestras (B1 a B5) tienen una resistencia creciente, comenzando con 22.392 kg/cm² en la muestra B1 y ligeramente descendiendo hasta 30.110 kg/cm² en la última muestra (B5). A lo largo de las mediciones, el concreto mantiene una resistencia consistente, con una ligera variación entre las muestras, alcanzando un valor promedio final de 30.301 kg/cm², lo que indica un comportamiento estable de la mezcla con alta resistencia a flexión durante los 28 días de exposición.

Figura 44

Datos recabados a partir de una muestra estándar + puzolana 24% (flexión)



En el gráfico, se presentan los resultados de flexión para concreto con 24% de puzolana, destacándose las variaciones de resistencia de las muestras M1 a M5. La resistencia a flexión comienza en 31.073 kg/cm² en la muestra M1 y presenta una ligera disminución en las muestras sucesivas, alcanzando 30.110 kg/cm² en M5. El valor promedio final es de 31.301 kg/cm², lo que refleja una caída moderada en la resistencia del concreto a medida que se aumenta el contenido de puzolana, pero mantiene un rendimiento relativamente estable.

Cuadros de comparación de las muestras (flexión)

Tabla 41

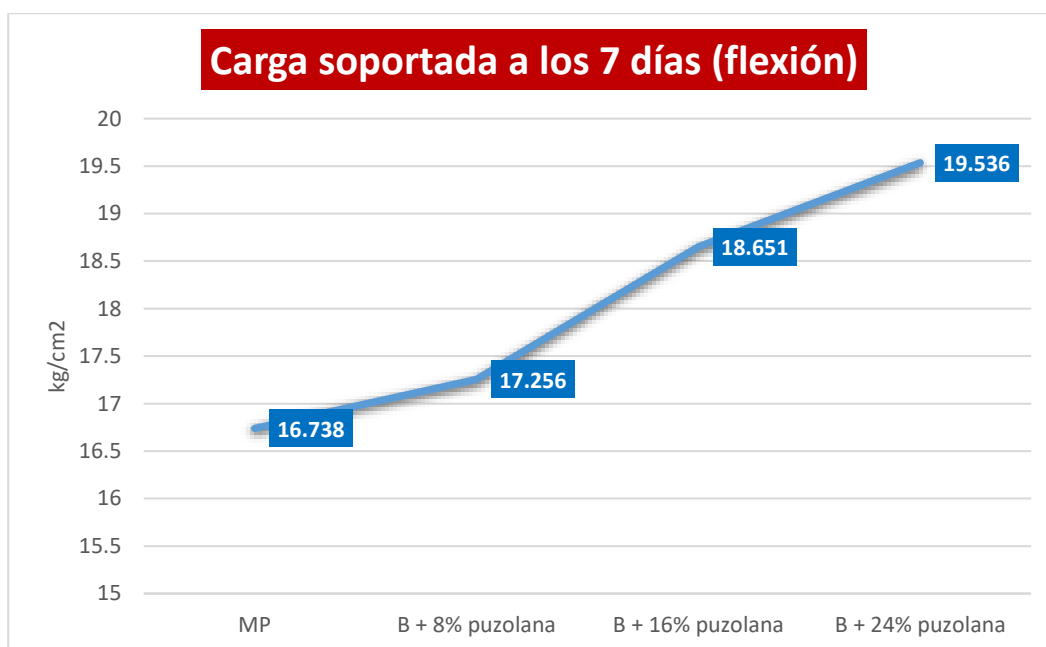
Comparación de resistencias promedio a los 7 días de curado

Comparativo de resistencias alcanzadas a los 7 días de curado	
Grupo d prueba	Resistencia (kg/cm2)
MP	16.738
B + 8% puzolana	17.256
B + 16% puzolana	18.651
B + 24% puzolana	19.536

En la tabla presentada, se muestran los resultados de flexión obtenidos en el séptimo día de prueba para diferentes mezclas de concreto. El concreto de referencia (MP) tiene una resistencia de 16.738 kg/cm². Las mezclas con 8%, 16%, y 24% de puzolana presentan incrementos en la resistencia, alcanzando valores de 17.256 kg/cm², 18.651 kg/cm² y 19.536 kg/cm² respectivamente. Esto refleja un claro efecto positivo de la adición de puzolana en la mejora de la resistencia a flexión del concreto.

Figura 45

Evolución de los testigos al 7mo día



En el gráfico mostrado, se observa la evolución de la carga soportada por los diferentes tipos de concreto a los 7 días de prueba. El concreto de referencia (MP) presenta una carga soportada de 16.738 kg/cm², mientras que las mezclas con puzolana muestran un incremento progresivo. La mezcla con 8% de puzolana alcanza los 17.256 kg/cm², la mezcla con 16% de puzolana llega a 18.651 kg/cm² y la mezcla con 24% de puzolana alcanza los 19.536 kg/cm². Este patrón destaca la mejora en la capacidad de carga soportada con el aumento de puzolana en la mezcla.

Tabla 42

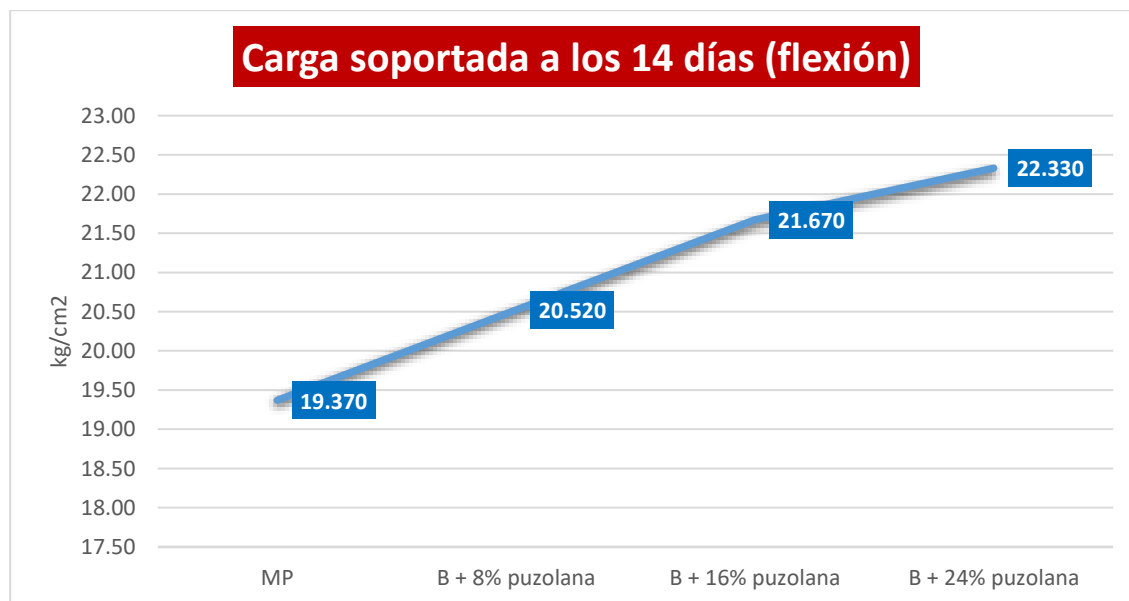
Comparación de resistencias promedio a los 14 días de curado

Comparativo de resistencias alcanzadas a los 14 días de curado	
Grupo d prueba	Grupo d prueba
MP	19.370
B + 8% puzolana	20.520
B + 16% puzolana	21.670
B + 24% puzolana	22.330

El análisis de los datos para el día 14 muestra una tendencia continua de aumento en la carga soportada por las distintas mezclas de concreto. El concreto de referencia (MP) presenta un valor de 19.37 kg/cm², mientras que las mezclas con puzolana mejoran notablemente. La mezcla con 8% de puzolana alcanza 20.52 kg/cm², la de 16% llega a 21.67 kg/cm², y la mezcla con 24% de puzolana alcanza los 22.33 kg/cm². Estos resultados evidencian una mejora en las propiedades del concreto con el incremento de puzolana, alcanzando mayores resistencias a medida que aumenta su contenido.

Figura 46

Evolución de los testigos al 14vo día



El análisis de la carga soportada a los 14 días muestra que las mezclas con puzolana continúan mejorando su rendimiento en comparación con el concreto estándar (MP). En este caso, el concreto con 8% de puzolana soporta 20.52 kg/cm², el de 16% llega a 21.67 kg/cm² y el de 24% alcanza los 22.33 kg/cm². Estos resultados refuerzan la tendencia de que la adición de puzolana contribuye significativamente a la mejora de las propiedades mecánicas del concreto a medida que pasa el tiempo.

Tabla 43

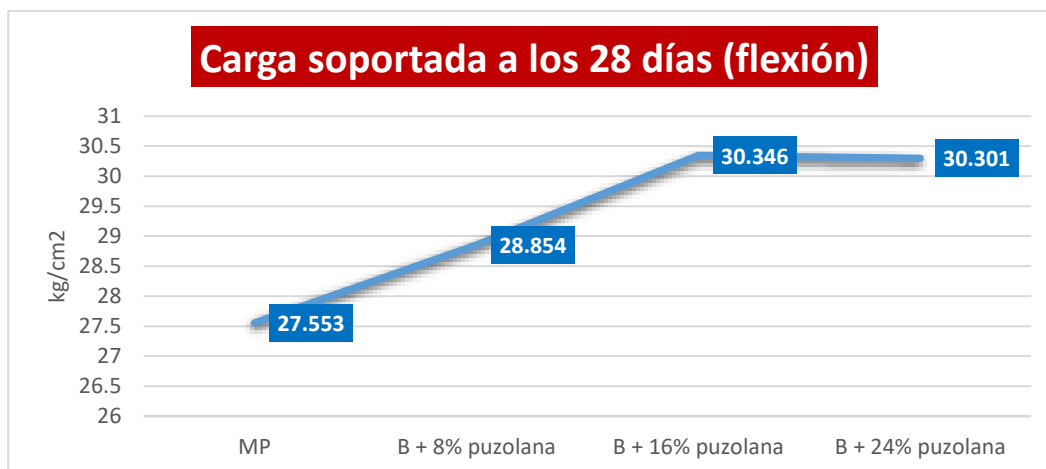
Comparación de resistencias promedio a los 28 días de curado

Comparativo de resistencias alcanzadas a los 28 días de curado	
Grupo d prueba	Grupo d prueba
MP	27.553
B + 8% puzolana	28.854
B + 16% puzolana	30.346
B + 24% puzolana	30.301

Los resultados obtenidos al día 28 reflejan un notable aumento en la capacidad de carga de las muestras con puzolana en comparación con el concreto sin aditivos (MP). El concreto con 8% de puzolana muestra un soporte de 28.854 kg/cm², mientras que con 16% de puzolana se alcanza los 30.346 kg/cm², siendo esta la mezcla con el mejor rendimiento. El concreto con 24% de puzolana también muestra un valor significativo de 30.301 kg/cm², lo que evidencia el impacto positivo de la puzolana en el fortalecimiento del material.

Figura 47

Evolución de los testigos al 28vo día



Los resultados obtenidos al día 28 reflejan un notable aumento en la capacidad de carga de las muestras con puzolana en comparación con el concreto sin aditivos (MP). El concreto con 8% de puzolana muestra un soporte de 28.854 kg/cm², mientras que con 16% de puzolana se alcanza los 30.346 kg/cm², siendo esta la mezcla con el mejor rendimiento. El concreto con 24% de puzolana también muestra un valor significativo de 30.301 kg/cm², lo que evidencia el impacto positivo de la puzolana en el fortalecimiento del material.

Tabla 44

Resumen de resistencias a flexión promedio a diferentes edades de curado

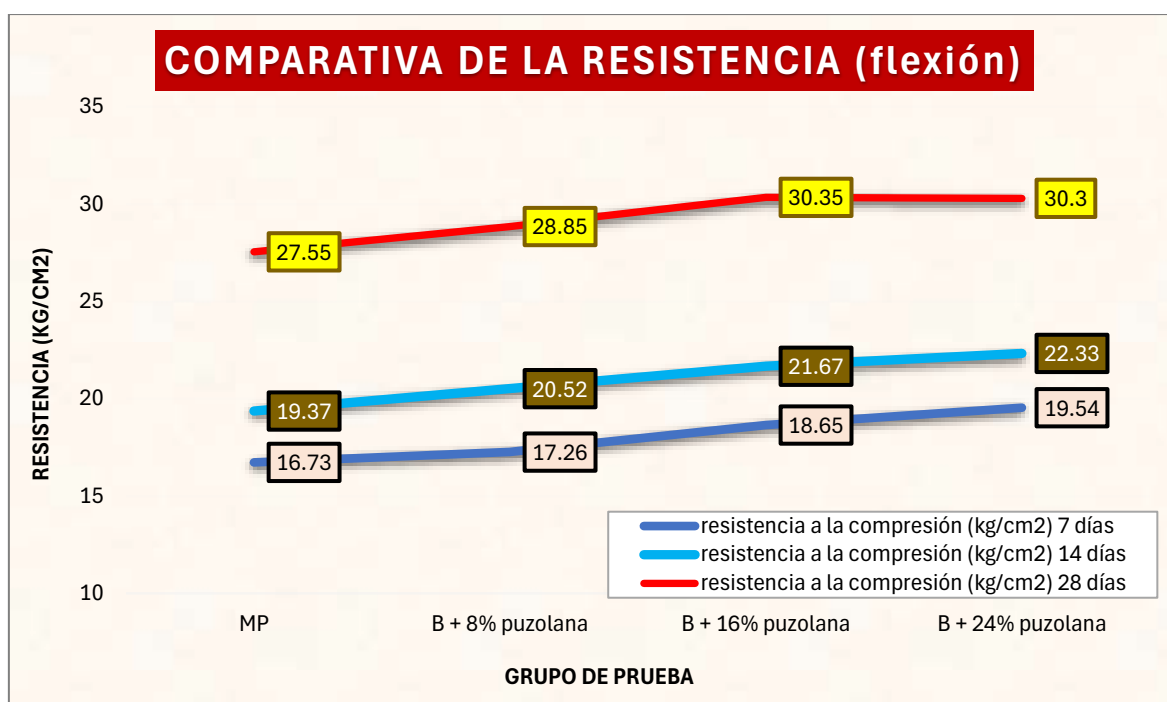
Resumen comparativo de resistencia a flexión			
Muestra	7 días (kg/cm ²)	14 días (kg/cm ²)	28 días (kg/cm ²)
MP	16.73	19.37	27.55
B + 8% puzolana	17.26	20.52	28.85
B + 16% puzolana	18.65	21.67	30.35
B + 24% puzolana	19.54	22.33	30.30

A continuación, se presenta un resumen del comportamiento de las muestras en función de la carga soportada a lo largo de 7, 14 y 28 días. Se observa que el concreto con puzolana presenta un comportamiento mejorado en comparación con el material sin aditivos (MP). La muestra con 8% de puzolana aumenta de 17.26 kg/cm² a los 7 días, a

28.85 kg/cm² a los 28 días. De manera similar, el concreto con 16% de puzolana progresa de 18.65 kg/cm² en el séptimo día a 30.35 kg/cm² al final de los 28 días. La mezcla con 24% de puzolana también muestra una tendencia similar, alcanzando los 30.30 kg/cm² al término de los 28 días.

Figura 48

Proceso de evolución de los testigos con variada dosificación



En esta gráfica, se compara la resistencia a la compresión de diferentes muestras de concreto con distintos porcentajes de puzolana (8%, 16% y 24%) en tres intervalos de tiempo: 7, 14 y 28 días. Se muestra que el concreto con puzolana presenta un aumento gradual de resistencia conforme pasa el tiempo, con los valores más altos alcanzados a los 28 días. Los resultados indican que el concreto con 24% de puzolana muestra la mayor resistencia en los tres puntos temporales, superando a las muestras con menores porcentajes de este material. La evolución en la resistencia resalta la mejora que ofrece la adición de puzolana en la mezcla, especialmente a medida que se incrementa su dosificación.

4.2 Discusión de Resultados

La discusión de los resultados es un componente esencial de la investigación, ya que facilita la interpretación de los hallazgos, la comparación con estudios previos y el desarrollo de hipótesis en las tendencias observadas. Este estudio investiga el impacto de reemplazar parcialmente el cemento con puzolana volcánica en las propiedades físicas y mecánicas del concreto convencional con una resistencia a la compresión de $F'C = 210$ kg/cm², enfatizando la trabajabilidad, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión. Los resultados obtenidos de los tres objetivos específicos descritos en la investigación se analizan posteriormente (Santana et al., 2022).

Trabajos en concreto

El objetivo principal, que implicaba investigar los efectos de la sustitución parcial del cemento con la puzolana volcánica sobre la trabajabilidad del concreto tradicional, indicó una pequeña reducción en la trabajabilidad a medida que aumentaron los porcentajes de puzolana volcánica. La trabajabilidad se evaluó a través del asentamiento de la muestra, lo que indica una disminución constante con el aumento de puzolana. La muestra de control, desprovista de puzolana, demostró un valor de liquidación de 3.82 pulgadas, mientras que la adición de 8% de puzolana condujo a una ligera disminución a 3.69 pulgadas. Sin embargo, la incorporación de cantidades mayores de puzolana (16% y 24%) condujo a una reducción más pronunciada en el asentamiento, lo que produce medidas de 3.54 y 3.40 pulgadas, respectivamente. Este comportamiento puede explicarse por las propiedades de Puzolana, que, al reemplazar parcialmente el cemento, mejora la viscosidad de la mezcla debido a su mayor finura y la presencia de partículas inerte que afectan la fluidez de la mezcla. Este resultado corresponde a estudios previos que sugieren que la inclusión de Puzolana reduce la trabajabilidad del concreto debido a su menor capacidad para generar pasta en comparación con el cemento Portland (Hossain, 2024).

Resistencia a la compresión

El segundo objetivo tenía como objetivo determinar la varianza en la resistencia a la compresión del concreto convencional al incorporar diferentes porcentajes de puzolana volcánica. Los resultados revelaron una asociación positiva, que muestra que la resistencia a la compresión mejoró con la creciente proporción de puzolana hasta un cierto límite. La muestra de control demostró una resistencia a la compresión de 341.31 kg/cm² a los 28 días, una cifra que aumentó progresivamente con la adición de puzolana. La mezcla con 8% de Puzolana mostró una resistencia de 349.81 kg/cm², mientras que la mezcla con 16% de Puzolana mostró una resistencia de 350.81 kg/cm². El aumento se debe a la activación de Puzolana en la mezcla, que interactúa con la cal libre en el cemento, produciendo compuestos adicionales que mejoran el proceso de endurecimiento del concreto. No obstante, el uso del 24% de Puzolana no produjo una mejora significativa en la resistencia a la compresión, que persistió a 348.73 kg/cm². Este fenómeno puede atribuirse a la sobrecarga de Puzolana, lo que reduce la cantidad de cemento disponible para las reacciones químicas iniciales que promueven el desarrollo de la resistencia temprana del concreto (Rojas, 2017). El uso excesivo de puzolana puede impedir la formación de productos de hidratación de cemento, lo que impide que el concreto alcance su máxima resistencia.

Resistencia a la flexión

En última instancia, con respecto al tercer objetivo, que evaluó el impacto de incluir la puzolana volcánica en la resistencia a la flexión del concreto convencional, los resultados fueron consistentes con los observados para la resistencia a la compresión. La resistencia a la flexión de la muestra de control fue de 57.14 kg/cm², mientras que la adición de 8% de Puzolana aumentó la resistencia a 60.47 kg/cm². Se alcanzó una resistencia de 62.18 kg/cm² con 16% de puzolana, lo que representa el valor máximo documentado en el

estudio. Sin embargo, la incorporación del 24% de Puzolana condujo a un poco de reducción en la resistencia a la flexión a 60.15 kg/cm^2 . Este comportamiento puede explicarse por el efecto similar observado en la compresión, donde un exceso de puzolana en la mezcla conduce a una eficiencia reducida de los compuestos resultantes, lo que afecta negativamente las propiedades mecánicas del concreto. La resistencia a la flexión está notablemente influenciada por varios factores, especialmente la relación agua/cemento y la microestructura del concreto (Armas, 2023). El aumento en la resistencia a la flexión con la adición del 16% de Puzolana indica una mejora en la cohesión y la densidad de la mezcla, lo que mejora la capacidad del concreto para soportar las presiones de flexión.

Evaluación contra la investigación alternativa

Los resultados de este estudio se corresponden con la literatura existente. Múltiples estudios demuestran que la incorporación de puzolana volcánica mejora las propiedades mecánicas del concreto; Sin embargo, este efecto depende de la cantidad utilizada y de la calidad de la puzolana. Un estudio de Collantes, (2017) indicaron que la resistencia a la compresión aumentó hasta en un 15% con la adición de puzolana, reemplazando el 20% del cemento. Sin embargo, la investigación adicional ha demostrado que más allá de un cierto porcentaje de sustitución, los beneficios relacionados con la resistencia son limitados, como se ve en el presente estudio al 24% de Puzolana.

Conclusiones exhaustivas

La incorporación de Puzolana volcánica en concreto estándar con $F'C = 210 \text{ kg/cm}^2$ mejora la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión hasta en un 16%, después de lo cual los beneficios se estabilizan o pueden disminuir ligeramente. Aunque Puzolana afecta negativamente la trabajabilidad del concreto, su inclusión ofrece un enfoque viable



para mejorar de manera sostenible las propiedades mecánicas del concreto, especialmente en contextos centrados en optimizar el rendimiento de la mezcla sin comprometer significativamente la calidad del material. Este estudio proporciona evidencia que respalda la viabilidad de incluir la puzolana volcánica como componente en la fabricación de concreto, especialmente en regiones donde este material es abundante, como las áreas volcánicas en varios lugares.

CONCLUSIONES

General, el estudio ha demostrado que la incorporación de puzolana volcánica como reemplazo parcial del cemento mejora significativamente las propiedades mecánicas del concreto convencional con una resistencia característica de 210 kg/cm^2 . La puzolana en 24% disminuye la trabajabilidad en hasta 5% lo cual no afecta en la misma siendo un material viable, en cuanto a las resistencias, a los 28 días, el concreto con 24% de puzolana alcanzó una resistencia a compresión de 239.42 kg/cm^2 , superior a las muestras sin aditivos que solo llegaron a 210.98 kg/cm^2 . Esto demuestra que el uso de puzolana volcánica no solo refuerza el concreto, sino que también mejora su comportamiento frente a esfuerzos de compresión, haciendo más eficiente el uso de materiales locales en la construcción.

Primera, la sustitución parcial de cemento por puzolana volcánica influye ligeramente en la trabajabilidad del concreto. En las mezclas con 8%, 16% y 24% de puzolana, se observó una disminución progresiva en el valor de asentamiento (slump), con el 8% alcanzando un promedio de 3.76", el 16% 3.72", y el 24% 3.70". Estos resultados indican que, aunque la incorporación de puzolana reduce un poco la trabajabilidad, la mezcla sigue siendo adecuada para su aplicación en obra.

Segunda, el reemplazo parcial de cemento por puzolana volcánica mejora la resistencia a la compresión del concreto, especialmente con concentraciones más altas. A los 28 días, las muestras con 24% de puzolana alcanzaron una resistencia de 239.42 kg/cm^2 , lo que representa un incremento notable respecto al concreto base, que registró 210.98 kg/cm^2 . Este comportamiento sugiere que la puzolana contribuye de manera significativa a la mejora de la resistencia del concreto, particularmente en el largo plazo.



Tercera, la resistencia a la flexión también mostró mejoras al incorporar puzolana volcánica. A los 28 días, el concreto con 24% de puzolana alcanzó una resistencia a la flexión de 30.30 kg/cm², lo que superó al concreto convencional sin aditivos, que obtuvo 27.55 kg/cm². Este aumento progresivo en la capacidad de resistencia a la flexión refuerza la viabilidad de usar puzolana volcánica como un sustituto efectivo del cemento, no solo para resistir compresión, sino también para aplicaciones que requieren resistencia a esfuerzos de flexión.



RECOMENDACIONES

Primera, Se recomienda realizar estudios adicionales sobre la durabilidad del concreto con puzolana volcánica, evaluando su comportamiento a largo plazo bajo condiciones climáticas extremas, como altas y bajas temperaturas, así como su resistencia a agentes agresivos como sulfatos y cloruros. Estos análisis permitirán obtener una visión más completa de la vida útil del concreto y su desempeño en diversas condiciones ambientales, asegurando su aplicabilidad en proyectos de construcción que enfrenten estos desafíos climáticos.

Segunda, Para futuros estudios, se sugiere investigar más a fondo cómo diferentes tipos de puzolana volcánica afectan la trabajabilidad del concreto, considerando factores como la finura y la química del material. Además, sería útil realizar ensayos en condiciones de campo para verificar la aplicabilidad práctica de las mezclas con puzolana en términos de manejo, colocación y tiempos de fraguado en situaciones reales de obra, lo cual permitirá optimizar el uso del material en proyectos de construcción.

Tercera, Es recomendable analizar el efecto de la puzolana en la resistencia a la compresión en una gama más amplia de edades de curado, más allá de los 28 días, para obtener una visión más completa de su comportamiento a largo plazo. Además, estudiar diferentes porcentajes de puzolana más allá del 24% permitirá identificar el límite óptimo de reemplazo para maximizar la resistencia sin afectar negativamente otras propiedades del concreto, como la trabajabilidad o la durabilidad.

Cuarta, Se recomienda realizar investigaciones adicionales sobre la resistencia a la flexión de mezclas con puzolana en combinación con otros aditivos, como fibras o superplastificantes, para mejorar aún más las propiedades mecánicas del concreto.



Además, sería útil comparar el rendimiento de la puzolana volcánica con otros materiales alternativos, como cenizas volantes o escorias, en términos de resistencia a la flexión, para determinar su competitividad y viabilidad en diferentes aplicaciones estructurales, garantizando soluciones más eficientes y sostenibles en la construcción.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias-Gómez, J., Villasís-Keever, M. Á., & Miranda-Novales, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: La población de estudio. *Revista Alergia México*, 63(2), Article 2. <https://doi.org/10.29262/ram.v63i2.181>
- Armas, B., & José, D. (2023). Influencia del Reemplazo de Cemento por Puzolana Volcánica en la Resistencia a Compresión del Concreto Compactado $f'c=280$ kg/cm² en la ciudad de Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/5743>
- Barboza, A. E. C., Monja, J. L. M., & Pérez, S. P. M. (2021). Comportamiento Térmico y Estructural del Concreto Expuesto a Altas Temperaturas: Una Revisión de la Literatura. *INVESTIGATIO*, 16, Article 16. <https://doi.org/10.31095/investigatio.2021.16.7>
- Barrientos Monsalve, E. J. (2020). Comportamiento del concreto ante la fibra y ceniza volcánica. *Mundo FESC*, 10(19), 202-214. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10244414>
- Beltran Manzano, B. E., & Gutierrez Vilca, K. A. (2023). Mejoramiento de las propiedades del concreto en condiciones climáticas frías mediante la adición de ceniza volcánica—Puno, 2023. *Repositorio Institucional - UCV*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/140014>
- Beltran Taipe, K. J. (2017). *Análisis comparativo de concretos adicionados con puzolanas artificiales de ceniza de cascarilla de arroz (CCA), Fly Ash y Puzolana natural*.
- Campos, I. J. (2024). Optimización de concreto $f'c = 280$ kg/cm² incorporando puzolana de mazorca y ceniza de eucalipto. *Obras y proyectos*, 36, 74-80. <https://doi.org/10.21703/0718-2813.2024.36.3008>
- Castro, C. M. J., Albear, J. J. H., Alcivar, M. S. G., & Brito, S. (2017). Impacto de la utilización de puzolanas naturales ecuatorianas. *Revista de Investigaciones en Energía Medio Ambiente y*



Tecnología RIEMAT ISSN 2588-0721, 2(1), Article 1.

<https://doi.org/10.33936/riemat.v2i1.931>

Castro Solano, E. P. (2020). *Estudio de la sustitución parcial de cemento de alta resistencia inicial por puzolana de ceniza volcánica en el diseño de hormigón* [bachelorThesis, Quito, 2020.].

<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20998>

Collantes Quispe, E. (2017). Estudio de las propiedades del concreto con adición de puzolana volcánica en Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca*.

<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/997>

Coppiano Gutiérrez, I. J. (2016). *USO DE CENIZA VOLCÁNICA COMO PUZOLANA NATURAL EN MEZCLAS DE HORMIGÓN* [bachelorThesis].

<http://repositorio.uees.edu.ec/handle/123456789/550>

Cuello, P., Avudaiappan, S., Canales, C., Montoya, L. F., Gutierrez-Senepa, M., & Arrue, R. (2024).

Evaluación del Potencial de Uso de la Roca Volcánica Calcinada: Un Enfoque Experimental para la Optimización de la Resistencia y el Diseño de la Proporción de la Mezcla. <https://hdl.handle.net/20.500.14468/26175>

Fragoso Doria, J. A., & Visbal Jacome, J. E. (2021). *El uso de la puzolana de origen natural en concreto hidráulico*. <https://hdl.handle.net/11227/14628>

Hossain, K. M. A. (2024). Volcanic ash and pumice as cement additives: Pozzolanic, alkali-silica reaction and autoclave expansion characteristics. *Cement and Concrete Research*, 35(6), 1141-1144. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.09.025>

Ibarcena Duran, C. (2019). "Adición de puzolana en la elaboración del concreto para el revestimiento de muros y su influencia en la Resistencia a los Ataques de Sulfatos y salitres en la Ciudad de Mollendo, Provincia de Islay, Region Arequipa, año 2018".

López Gutierrez, J. A., & Melo Morales, Á. N. (2024). Concreto estructural con obsidiana como sustituto de agregado grueso. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI, Extra 12*, 58. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10097409>



- López-Gutierrez, J. A., & Melo-Morales, Á. N. (2024). Concreto estructural con obsidiana como sustituto de agregado grueso. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 12, 52-56. <https://doi.org/10.29057/icbi.v12iEspecial3.13437>
- Mayta Mamani, J. C. (2024). Evaluación de la resistencia del concreto a compresión con diferentes adiciones de material puzolánico de Yura—Arequipa, 2022. *Universidad Continental*. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14926>
- Mejias Guevara, L. S. (2021). *Estudio de la resistencia a la compresión de morteros a base de cemento, puzolana, y superplastificante para su aplicación en concreto de alta resistencia*. UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA. Editorial Innovación Tecnológica. (EDIT).
- Mendez Eusebio, D. L. (2024). *Influencia de la adición de las tobas volcánicas en las propiedades mecánicas en los ladrillos ecológicos de concreto, Ayacucho 2023*. <https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/20.500.14612/6992>
- Quispe Meza, E. S. J. (2019). Evaluación del desempeño de concreto estructural ligero utilizando puzolana natural como agregado fino de la cantera Raqchi, Cuzco—2018. *Universidad Nacional Federico Villarreal*. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/3593>
- Ramirez Morales, J. J. (2018). Concreto liviano de alta resistencia empleando nanosílice y puzolana natural en el Perú. *Universidad Nacional Federico Villarreal*. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2618>
- Rojas, M., & Marilyn, A. P. (2017). Determinación de las propiedades físico-mecánicas de un concreto de $F'C= 210 \text{ Kg/cm}^2$ con adición de puzolana volcánica en Cajamarca. *Universidad Nacional de Cajamarca*. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1502>
- Santana, J. J., Rodríguez-Brito, N., Blanco-Peñalver, C., Mena, V. F., & Souto, R. M. (2022). Durability of Reinforced Concrete with Additions of Natural Pozzolans of Volcanic Origin. *Materials*, 15(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/ma15238352>



- Toapanta-Santacruz, S. N., Gamez-Proaño, E. A., & Jimpikit-Wisum, N. V. (2021). Utilización de ceniza volcánica en la fabricación de materiales de construcción. *Polo del Conocimiento*, 6(10), 15-27. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i10.3180>
- Torre, A. V., Espinoza, P. C., Matias, J. A., Torre, A. V., Espinoza, P. C., & Matias, J. A. (2022). Uso de las redes neuronales artificiales en el estudio del coeficiente de permeabilidad de concretos adicionados con microsilíce, metacaolín y puzolana. *Información tecnológica*, 33(5), 81-92. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642022000500081>



ANEXOS



Anexo. Matriz de Consistencia

TESIS: "EFECTO DEL REEMPLAZO DE PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025"				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Inst. de Medición
<p>Problema General:</p> <p>¿Cómo varían las propiedades mecánicas y reológicas de un concreto convencional cuando se sustituye parcialmente el cemento por puzolana de origen volcánico en la provincia de San Román en el año 2025?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Evaluar la influencia del reemplazo parcial de cemento por puzolana de origen volcánico en las propiedades mecánicas y de trabajabilidad del concreto convencional con $f'c=210$ kg/cm² en la provincia de San Román en el año 2025.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>El reemplazo parcial del cemento por puzolana de origen volcánico influye significativamente en las propiedades mecánicas y de trabajabilidad del concreto convencional con $f'c=210$ kg/cm² en la provincia de San Román en el año 2025.</p>	<p>Variable Independiente</p> <p>PUZOLANA DE ORIGEN VOLCANICO</p> <p>Dimensiones:</p> <p>Concreto + PUZOLANA <i>M + 8% puzolana</i> <i>M + 16% puzolana</i> <i>M + 24% puzolana</i></p> <p>Variable Dependiente</p> <p>PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL</p> <p>Dimensiones:</p> <p><i>Asentamiento</i> <i>Resistencia a la compresión</i> <i>Resistencia a la flexión</i></p>	<p>Fichas y Herramientas de Laboratorio</p> <p>Equipos y herramienta de Laboratorio de Concretos.</p>
<p>Problemas Específicos</p> <p>¿De qué manera influye la sustitución parcial del cemento por puzolana volcánica en la trabajabilidad del concreto convencional con una resistencia nominal de $f'c=210$ kg/cm² en la provincia de San Román en 2025?</p> <p>¿Cuál es el impacto de la adición de puzolana volcánica en la resistencia a la compresión del concreto convencional con $f'c=210$ kg/cm² en la provincia de San Román en 2025?</p> <p>¿Cómo afecta la incorporación de puzolana volcánica a la resistencia a la flexión del concreto convencional con $f'c=210$ kg/cm² en la provincia de San Román en 2025?</p>	<p>Objetivos Específicos</p> <p>Analizar el efecto de la sustitución parcial de cemento por puzolana volcánica en la trabajabilidad del concreto convencional con $f'c=210$ kg/cm².</p> <p>Determinar la variación en la resistencia a la compresión del concreto convencional con $f'c=210$ kg/cm² al incorporar diferentes porcentajes de puzolana volcánica.</p> <p>Evaluar el impacto de la inclusión de puzolana volcánica en la resistencia a la flexión del concreto convencional con $f'c=210$ kg/cm².</p>	<p>Hipótesis Específicas</p> <p>La incorporación de puzolana volcánica como sustituto parcial del cemento altera la trabajabilidad del concreto convencional con $f'c=210$ kg/cm², modificando su consistencia y fluidez en estado fresco.</p> <p>La sustitución parcial del cemento por puzolana volcánica influye en la resistencia a la compresión del concreto convencional con $f'c=210$ kg/cm², presentando una posible mejora en su desempeño mecánico a edades avanzadas debido a la reacción puzolánica.</p> <p>La inclusión de puzolana volcánica en la mezcla de concreto convencional con $f'c=210$ kg/cm² tiene un impacto en su resistencia a la flexión, pudiendo modificar su capacidad para absorber esfuerzos de tracción indirecta.</p>		

Anexo 3. Panel fotográfico

Fotografía 01. Pesaje de la puzolana



Fotografía 02. Tamizado de la puzolana



Fotografía 03. Materiales empleados en nuestro estudio



Fotografía 04. Elaboración de las briquetas



Fotografía 05. Curado de briquetas



Fotografía 06. Tomando apuntes de las dimensiones de las viguetas



Fotografía 07. Briquetas sometidas a compresión



Fotografía 08. Introducción de agregados para medición de contenido de humedad



Fotografía 09. Mezcla de agregados fino y grueso



Fotografía 10. Tamizado de los agregados





Fotografía 11. Medición de los testigos





UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PROYECTO : EFECTO DEL REEMPLAZO DE PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025
SOLICITANTE : BACHILLER PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA
CANTERA : ISLA - AGREGADO GRUESO
: ISLA - AGREGADO FINO
LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV
FECHA : ABRIL 2025

ANÁLISIS MECÁNICO Y PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

AGREGADO FINO

Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	Peso Especifico y Absorción Método del Picnómetro	
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	A -Peso de muestra secada al horno	485.85
N° 4	0.00	0.00	0.00	100.00	B -Peso de muestra saturada seca (SSS)	500.00
					Wc -Peso del picnómetro con agua	1313.12
N° 8	107.36	21.47	21.47	78.53	W -Peso del Pic. + muestra + agua	1618.15
					PESO ESPECÍFICO	
N° 16	90.86	18.17	39.64	60.36	Wc+B = 1813	Wc+B-W = 195
N° 30	102.75	20.55	60.19	39.81	Pe = $\frac{B}{Wc+B-W} = \frac{500}{1618.15-195} = 2.50$	gr/cm ³
N° 50	127.98	25.60	85.79	14.21	ABSORCIÓN	
N° 100	43.45	8.69	94.48	5.52	B = 500.00	B-A = 14.15
N° 200	9.69	1.94	96.42	3.58	Abs = $\frac{(B-A) \times 100}{A} = \frac{14.15 \times 100}{500} = 2.83$	%
FONDO	17.91	3.58	100.00	0.00	Observaciones sobre el Análisis Granulométrico	
SUMA	500.00	100.00			Mf = MÓDULO DE FINEZA 3.02	

AGREGADO GRUESO

Malla	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa	Peso Especifico y Absorción Método del Picnómetro	
2"	0	0.00	0.00	100.00	A -Peso de muestra secada al horno	784.64
1 1/2"	0	0.00	0.00	100.00	B -Peso de muestra saturada seca (SSS)	800.00
					Wc -Peso del picnómetro con agua	1313.12
1"	271	7.74	7.74	92.26	W -Peso del Pic. + muestra + agua	1799.52
					PESO ESPECÍFICO	
3/4"	527	15.06	22.80	77.20	Wc+B = 2113	Wc+B-W = 314
1/2"	1040	29.71	52.51	47.49	Pe = $\frac{B}{Wc+B-W} = \frac{800}{1799.52-314} = 2.52$	gr/cm ³
3/8"	552	15.77	68.29	31.71	ABSORCIÓN	
N° 4	0	0.00	68.29	31.71	B = 800.00	B-A = 15.36
N° 8	1110	31.71	100.00	0.00	Abs = $\frac{(B-A) \times 100}{A} = \frac{15.36 \times 100}{800} = 1.92$	%
FONDO	0.00	0.00	100.00	0.00	Observaciones sobre el Análisis Granulométrico	
SUMA	3500.00	100.00				

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS
Ing. Araldo Yana Torres

BIE : B006-00316233



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

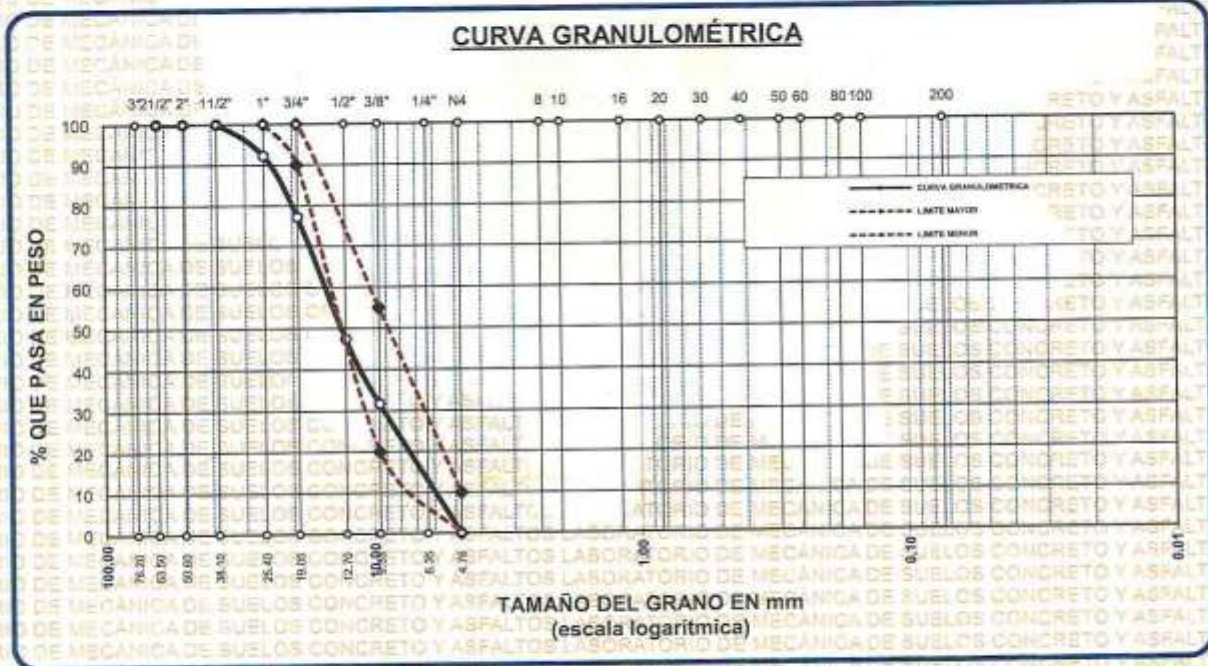


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA: ASTM C 33

PROYECTO : EFECTO DEL REEMPLAZO DE PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025
SOLICITANTE : BACHILLER PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA
CANtera : ISLA - AGREGADO GRUESO
: ISLA - AGREGADO FINO
LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV
FECHA : ABRIL 2025

TAMICES	ABERTURA	PESO	%RETENIDO	%RETENIDO	% QUE	ESPECIF.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
ASTM	mm	RETENIDO	PARCIAL	ACUMULADO	PASA		
3"	76.200						Peso Inicial = 3500 gr.
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00		Tamaño máx. nominal = 3/4"
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	271.00	7.74	7.74	92.26	100 %	OBSERVACIONES:
3/4"	19.050	527.00	15.06	22.80	77.20	90 - 100 %	
1/2"	12.700	1040.00	29.71	52.51	47.49	20 - 55 %	
3/8"	9.525	552.00	15.77	68.29	31.71	0 - 10 %	
1/4"	6.350						
No4	4.760	1110.00	31.71	100.00	0.00		
BASE		0.00		100.0	0.0		
TOTAL		3500.00	100.00				
% PERDIDA		0.00					



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
Ing. Anwaro Yana Torres
Diciembre 1995



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

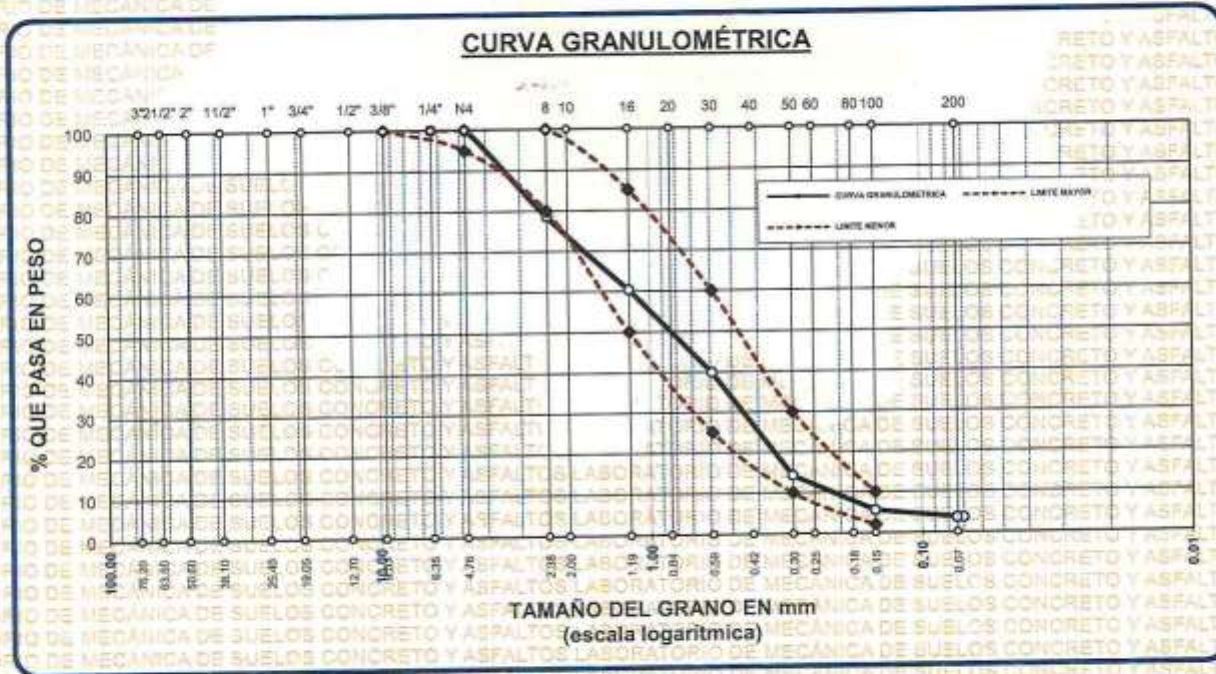


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NORMA: ASTM C 33

PROYECTO : EFECTO DEL REEMPLAZO DE PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025
SOLICITANTE : BACHILLER PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA
CANTERA : ISLA - AGREGADO GRUESO
: ISLA - AGREGADO FINO
LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV
FECHA : ABRIL 2025

TAMICES	ABERTURA	PESO	%	%RET.	% QUE	ESPECIF.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
ASTM	mm	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	PASA		
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100%	Peso Inicial = 500 gr.
1/4"	6.350	0.00	0.00	0.00	100.00	95 - 100 %	
No4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00	80 - 100 %	Módulo de Fineza = 3.02
No8	2.380	107.36	21.47	21.47	78.53		
No10	2.000					50 - 85 %	OBSERVACIONES:
No16	1.190	90.86	18.17	39.64	60.36		
No20	0.840					25 - 60 %	
No30	0.590	102.75	20.55	60.19	39.81		
No40	0.420					10 - 30 %	
No 50	0.300	127.98	25.60	85.79	14.21		
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	43.45	8.69	94.48	5.52		
No200	0.074	9.69	1.94	96.42	3.58		
BASE		17.91	3.58	100	0.00		
TOTAL		500.00	100.00				
% PERDIDA		3.58					



OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA

INGENIERO EN INGENIERÍA CIVIL

RIE: B006-00316233



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D-2216 MTC E108-2000

PROYECTO : EFECTO DEL REEMPLAZO DE PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025

SOLICITANTE : BACHILLER PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA

CANTERA : ISLA - AGREGADO GRUESO

 : ISLA - AGREGADO FINO

LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV

FECHA : ABRIL 2025

MUESTRA : AGREGADO FINO	
N° DE TARRO	1
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARRO (gr.)	346.13
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARRO (gr.)	331.39
PESO DEL TARRO (gr.)	51.27
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA (gr.)	294.86
PESO DE LA MUESTRA SECO (gr.)	280.12
PESO DEL AGUA (gr.)	14.74
% HUMEDAD	5.26

MUESTRA : AGREGADO GRUESO	
N° DE TARRO	2
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA + TARRO (gr.)	433.75
PESO DE LA MUESTRA SECA + TARRO (gr.)	425.32
PESO DEL TARRO (gr.)	59.42
PESO DE LA MUESTRA HUMEDA (gr.)	374.33
PESO DE LA MUESTRA SECO (gr.)	365.90
PESO DEL AGUA (gr.)	8.43
% HUMEDAD	2.30

OBSERVACIONES:
 * LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 Mgtr. Arnaldo Yana Torres
 D.P. 103257

BIF: 0006-00316233



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PESOS UNITARIOS

NTP 400.017 - ASTM C - 29 AASHTO T - 19

PROYECTO : EFECTO DEL REEMPLAZO DE PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025
SOLICITANTE : BACHILLER PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA
CANTERA : ISLA - AGREGADO GRUESO
: ISLA - AGREGADO FINO
LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV
FECHA : ABRIL 2025

DENSIDAD MINIMA AGREGADO FINO (SUELTO)			
PESO DEL MOLDE	5931 gr	5931 gr	5931 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2121 cm ³	2121 cm ³	2121 cm ³
COLOCACION DE MUESTRA A MOLDE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE
PESO DEL MOLDE + MUESTRA SUELTA	9468.00 gr	9445.00 gr	9278.00 gr
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	3537.00 gr	3514.00 gr	3347.00 gr
DENSIDAD MINIMA DE LA MUESTRA SECA	1.668 gr/cm ³	1.657 gr/cm ³	1.578 gr/cm ³
PROMEDIO	1.634 gr/cm ³		

DENSIDAD MINIMA AGREGADO FINO (VARILLADO)			
PESO DEL MOLDE	5931 gr	5931 gr	5931 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	2121 cm ³	2121 cm ³	2121 cm ³
Nº DE CAPAS	3	3	3
Nº DE GOLPES POR CAPA	25	25	25
PESO DEL MOLDE + MUESTRA COMPACTADA	9445.00 gr	9535.00 gr	9589.00 gr
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	3514.00 gr	3604.00 gr	3658.00 gr
DENSIDAD MAXIMA DE LA MUESTRA SECA	1.657 gr/cm ³	1.699 gr/cm ³	1.725 gr/cm ³
PROMEDIO	1.694 gr/cm ³		

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE

M.Sc.A. JEFATONIO
UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
R.I.C.P. - C.A. INGENIERÍA CIVIL
C.I.F. 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PESOS UNITARIOS

NTP 400.017 - ASTM C - 29 AASHTO T - 19

PROYECTO : EFECTO DEL REEMPLAZO DE PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025
SOLICITANTE : BACHILLER PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA
CANTERA : ISLA - AGREGADO GRUESO
: ISLA - AGREGADO FINO
LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV
FECHA : ABRIL 2025

DENSIDAD MINIMA AGREGADO GRUESO(SUELTO)			
PESO DEL MÓLDE	7105 gr	7105 gr	7105 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	3239 cm ³	3239 cm ³	3239 cm ³
COLOCACION DE MUESTRA A MOLDE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE	CAIDA LIBRE
PESO DEL MOLDE + MUESTRA SUELTA	11642.00 gr	11635.00 gr	11757.00 gr
PESO DE LA MUESTRA SUELTA	4537.00 gr	4530.00 gr	4652.00 gr
DENSIDAD MINIMA DE LA MUESTRA SECA	1.401 gr/cm ³	1.399 gr/cm ³	1.436 gr/cm ³
PROMEDIO	1.412 gr/cm ³		

DENSIDAD MINIMA AGREGADO GRUESO(VARILLADO)			
PESO DEL MOLDE	7105 gr	7105 gr	7105 gr
VOLUMEN DEL MOLDE	3239 cm ³	3239 cm ³	3239 cm ³
Nº DE CAPAS	3	3	3
Nº DE GOLPES POR CAPA	25	25	25
PESO DEL MOLDE + MUESTRA COMPACTADA	12369.00 gr	12035.00 gr	12175.00 gr
PESO DE LA MUESTRA COMPACTADA	5264.00 gr	4930.00 gr	5070.00 gr
DENSIDAD MAXIMA DE LA MUESTRA SECA	1.625 gr/cm ³	1.522 gr/cm ³	1.565 gr/cm ³
PROMEDIO	1.571 gr/cm ³		

OBSERVACIONES: LAS MUESTRAS FUERON PUESTAS EN LABORATORIO POR EL SOLICITANTE



[Firma]
M.Sc. Arifredo Torres
CIP. 13267



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



DISEÑO DE MEZCLA $F'c = 210 \text{ Kg./cm.}^2$

PROYECTO : EFECTO DEL REEMPLAZO DE PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025

SOLICITANTE : BACHILLER PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA

CANTERA : ISLA - AGREGADO GRUESO

 : ISLA - AGREGADO FINO

LUGAR : LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO-UANCV

FECHA : ABRIL 2025

PROCESO DE DISEÑO:

NORMAS: ACI 211.1.74
 ACI 211.1.81

El requerimiento promedio de resistencia a la compresión $F'c = 210 \text{ Kg./cm.}^2$ a los 28 días
entonces la resistencia promedio $F'cr = 294 \text{ Kg./cm.}^2$

Las condiciones de colocación permiten un asentamiento de 3" a 4" (76.2 mm. A 101.6 mm.).

SE UTILIZARA EL CEMENTO RUMI TIPO IP

Dado el uso del agregado grueso, se utilizará el único agregado de calidad satisfactoria y económicamente disponible, el cual cumple con las especificaciones. Cuya graduación para el diámetro máximo nominal es de: **3/4" (19.05mm)**

Además se indica las pruebas de laboratorio para los agregados realizadas previamente:

RESULTADOS DE LABORATORIO

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
P.e de Sólidos		
P.e SSS	2.52	2.50
P.e Bulk		
P.U. Varillado	1571	1694
P.U. Suelto	1412	1634
% de Absorción	1.87	2.65
% de Humedad Natural	2.30	5.26
Modulo de Fineza	-	3.02

Los cálculos aparecerán únicamente en forma esquemática:

- El asentamiento dado es de 3" a 4" (76.2 mm. A 101.6 mm.).
- Se usará el agregado disponible en la localidad, el cual posee un diámetro nominal **3/4" (19.05mm)**.
- Puesto que no se utilizará incorporador de aire, pero la estructura estará expuesta a intemperismo severo, la cantidad aproximada de agua de mezclado que se empleará para producir el asentamiento indicado será de: **205 Lt/m³**
- Como el concreto estará sometido a intemperismo severo se considera un contenido de aire atrapado de: **2.0 %**
- Como se prevee que el concreto no será atacado por sulfatos, entonces las relación agua/cemento (a/c) será de: **0.56**
- De acuerdo a la información obtenida en los items 3 y 4 el requerimiento de cemento será de:
 $(205 \text{ Lt/m}^3) / (0.56) = 366 \text{ Kg/m}^3$

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS

BIE: 8006-00316233



7. De acuerdo al módulo de fineza del agregado fino = 3.02 el peso específico unitario del agregado grueso varillado-compactado de 1571 Kg/m³ y un agregado grueso con tamaño máximo nominal de 3/4" (19.05mm) se recomienda el uso de 0.592 m³ de agregado grueso por m³ de concreto. Por tanto el peso seco del agregado grueso será de:

$$(0.5923) * (1571) = 930 \text{ Kg/m}^3$$

8. Una vez determinadas las cantidades de agua, cemento y agregado grueso, los materiales resultantes para completar un m³ de concreto consistirán en arena y aire atrapado. La cantidad de arena requerida se puede determinar en base al volumen absoluto como se muestra a continuación.

Con las cantidades de agua, cemento y agregado grueso ya determinadas y considerando el contenido aproximado de aire atrapado, se puede calcular el contenido de arena como sigue:

$$\begin{aligned} \text{Volúmen absoluto de agua} &= (205) / (1000) = 0.205 \\ \text{Volúmen absoluto de cemento} &= (366) / (2.88 * 1000) = 0.127 \\ \text{Volúmen absoluto de agregado grueso} &= (930) / (2.53 * 1000) = 0.368 \\ \text{Volúmen de aire atrapado} &= (2.0) / (100) = 0.020 \\ \text{Volúmen sub total} &= 0.720 \end{aligned}$$

Volúmen absoluto de arena

$$\text{Por tanto el peso requerido de arena seca será de: } = (1.000 - 0.720) = 0.280 \text{ m}^3$$

$$(0.280) * (2.50) * 1000 = 700 \text{ Kg/m}^3$$

9. De acuerdo a las pruebas de laboratorio se tienen % de humedad, por las que se tiene que ser corregidas los pesos de los agregados:

$$\begin{aligned} \text{Agregado grueso húmedo } (930) * (1.023039) &= 952 \text{ Kg.} \\ \text{Agregado Fino húmedo } (700) * (1.0526) &= 737 \text{ Kg.} \end{aligned}$$

10. El agua de absorción no forma parte del agua de mezclado y debe excluirse y ajustarse por adición de agua. De esta manera la cantidad de agua efectiva es:

$$205 - 930 * \left(\frac{2.30 - 1.87}{100} \right) - 700 \left(\frac{5.26 - 2.65}{100} \right) = 183$$

DOSIFICACIÓN

AGREGADO	DOSIFICACIÓN EN PESO SECO (Kg/m ³)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN PESO SECO	DOSIFICACIÓN EN PESO HÚMEDO (Kg/m ³)	PROPORCIÓN EN VOLUMEN PESO HÚMEDO
Cemento	366	1.00	366	1.00
Agua	205	0.56	183	0.50
Agreg. Grueso	930	2.54	952	2.60
Agreg. Fino	700	1.91	737	2.01
Aire	2.0 %		2.0 %	

8.61 BOLSAS / m³ DE CEMENTO

DOSIFICACIÓN POR PESO:

Cemento	42.50 Kg.
Agregado fino húmedo	85.59 Kg.
Agregado grueso húmedo	110.51 Kg.
Agua efectiva	21.21 Kg.

Yana Torres
C.I. 1032257



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

TEMA: EFECTO DEL REEMPLAZO DE PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025

SOLICITANTE: BACHILLER PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA
LUGAR: LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA
FECHA: 01 - ABRIL - 2025

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MUESTRA PATRÓN

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	25714	15.01	176.95	145.32	210	01/04/2025	08/04/2025	7	69.20
2	B - 2	25735	14.98	176.24	146.02	210	01/04/2025	08/04/2025	7	69.53
3	B - 3	25721	15.01	176.95	145.36	210	01/04/2025	08/04/2025	7	69.22
4	B - 4	25769	14.98	176.24	146.22	210	01/04/2025	08/04/2025	7	68.63
5	B - 5	25836	15.01	176.95	146.01	210	01/04/2025	08/04/2025	7	69.53
Promedio De Esf. Rotura					145.78					69.42

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	33875	15.01	176.95	191.44	210	01/04/2025	15/04/2025	14	91.16
2	B - 2	33988	15.01	176.95	192.08	210	01/04/2025	15/04/2025	14	91.47
3	B - 3	33896	14.98	176.24	192.33	210	01/04/2025	15/04/2025	14	91.59
4	B - 4	33835	14.98	176.24	191.96	210	01/04/2025	15/04/2025	14	91.42
5	B - 5	33842	15.01	176.95	191.25	210	01/04/2025	15/04/2025	14	91.07
Promedio De Esf. Rotura					191.82					91.34

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm2	Kg/cm2	Kg/cm2	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	37389	15.01	176.95	211.18	210	01/04/2025	29/04/2025	28	100.56
2	B - 2	37374	15.01	176.95	211.21	210	01/04/2025	29/04/2025	28	100.58
3	B - 3	37235	15.01	176.95	210.43	210	01/04/2025	29/04/2025	28	100.20
4	B - 4	37270	14.98	176.24	211.47	210	01/04/2025	29/04/2025	28	100.70
5	B - 5	37269	15.01	176.95	210.62	210	01/04/2025	29/04/2025	28	100.29
Promedio De Esf. Rotura					210.98					100.47

OBSERVACIONES:

1.- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADAS POR EL BACHILLER


 Ing. Arlindo Yana Torres
 CIP 103257



UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

TEMA: EFECTO DEL REEMPLAZO DE PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025

SOLICITANTE: BACHILLER PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA

LUGAR: LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA

FECHA: 01 - ABRIL - 2025

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON 8% DE PUZOLANA VOLCANICA

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	φ	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	27063	15.01	176.95	152.94	210	01/04/2025	08/04/2025	7	72.63
2	B - 2	27074	15.01	176.95	153.00	210	01/04/2025	08/04/2025	7	72.86
3	B - 3	26625	15.01	176.95	150.47	210	01/04/2025	08/04/2025	7	71.65
4	B - 4	27089	15.01	176.95	152.98	210	01/04/2025	08/04/2025	7	72.85
5	B - 5	26852	15.01	176.95	150.62	210	01/04/2025	08/04/2025	7	71.72
Promedio De Esf. Rotura					152.00					72.38

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	φ	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	35274	15.01	176.95	199.34	210	01/04/2025	15/04/2025	14	94.93
2	B - 2	35885	15.01	176.95	202.80	210	01/04/2025	15/04/2025	14	96.57
3	B - 3	35696	15.01	176.95	201.73	210	01/04/2025	15/04/2025	14	96.06
4	B - 4	35553	14.98	176.24	201.73	210	01/04/2025	15/04/2025	14	96.06
5	B - 5	35642	15.01	176.95	201.42	210	01/04/2025	15/04/2025	14	95.92
Promedio De Esf. Rotura					201.41					95.91

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	φ	AREA	ESF. ROTURA	F'c	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	39569	15.01	176.95	223.62	210	01/04/2025	29/04/2025	28	106.48
2	B - 2	39475	15.01	176.95	223.09	210	01/04/2025	29/04/2025	28	106.23
3	B - 3	39474	15.01	176.95	223.06	210	01/04/2025	29/04/2025	28	106.23
4	B - 4	39786	14.98	176.24	225.75	210	01/04/2025	29/04/2025	28	107.50
5	B - 5	39843	15.01	176.95	225.17	210	01/04/2025	29/04/2025	28	107.22
Promedio De Esf. Rotura					224.14					106.73

OBSERVACIONES:
1.- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADAS POR EL BACHILLER


 Ingeniero Nana Torres
 CIP: 103257





UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

TEMA: EFECTO DEL REEMPLAZO DE PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025
SOLICITANTE: BACHILLER PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA
LUGAR: LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA
FECHA: 01 - ABRIL - 2025

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON 16% DE PUZOLANA VOLCANICA

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	27976	15.01	176.95	158.10	210	01/04/2025	08/04/2025	7	75.29
2	B - 2	28155	15.01	176.95	159.11	210	01/04/2025	08/04/2025	7	75.77
3	B - 3	28131	15.01	176.95	158.98	210	01/04/2025	08/04/2025	7	75.70
4	B - 4	28032	15.01	176.95	158.42	210	01/04/2025	08/04/2025	7	75.44
5	B - 5	27816	15.01	176.95	157.20	210	01/04/2025	08/04/2025	7	74.86
Promedio De Esf. Rotura					158.36					75.41

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	38758	15.01	176.95	207.73	210	01/04/2025	15/04/2025	14	98.92
2	B - 2	38691	15.01	176.95	207.35	210	01/04/2025	15/04/2025	14	98.74
3	B - 3	36457	15.01	176.95	206.03	210	01/04/2025	15/04/2025	14	98.11
4	B - 4	36685	14.98	176.24	208.15	210	01/04/2025	15/04/2025	14	99.12
5	B - 5	35628	15.01	176.95	201.35	210	01/04/2025	15/04/2025	14	95.88
Promedio De Esf. Rotura					206.12					98.15

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	41426	15.01	176.95	234.11	210	01/04/2025	29/04/2025	28	111.48
2	B - 2	41521	15.01	176.95	234.65	210	01/04/2025	29/04/2025	28	111.74
3	B - 3	41326	15.01	176.95	233.56	210	01/04/2025	29/04/2025	28	111.22
4	B - 4	41746	14.98	176.24	236.87	210	01/04/2025	29/04/2025	28	112.80
5	B - 5	41589	15.01	176.95	235.03	210	01/04/2025	29/04/2025	28	111.92
Promedio De Esf. Rotura					234.94					111.83

OBSERVACIONES:
1.- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADAS POR EL BACHILLER

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FICE - CAPACITACIÓN CIVIL
Paul Humberto Calsina Mollohuanca



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

NTP 339.034

TEMA

EFFECTO DEL REEMPLAZO DE PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025

SOLICITANTE

BACHILLER PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA

LUGAR

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA

FECHA

01 - ABRIL - 2025

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON 24% DE PUZOLANA VOLCANICA

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	28746	15.01	176.95	162.45	210	01/04/2025	08/04/2025	7	77.35
2	B - 2	28825	15.01	176.95	161.77	210	01/04/2025	08/04/2025	7	77.03
3	B - 3	28597	14.98	176.24	162.26	210	01/04/2025	08/04/2025	7	77.27
4	B - 4	28613	14.98	176.24	162.35	210	01/04/2025	08/04/2025	7	77.31
5	B - 5	28895	15.01	176.95	162.11	210	01/04/2025	08/04/2025	7	77.19
Promedio De Esf. Rotura					162.19					77.23

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	37129	15.01	176.95	209.83	210	01/04/2025	15/04/2025	14	99.92
2	B - 2	36745	15.01	176.95	207.68	210	01/04/2025	15/04/2025	14	98.88
3	B - 3	37298	15.01	176.95	210.78	210	01/04/2025	15/04/2025	14	100.37
4	B - 4	36952	15.01	176.95	208.83	210	01/04/2025	15/04/2025	14	99.44
5	B - 5	37641	15.01	176.95	212.72	210	01/04/2025	15/04/2025	14	101.30
Promedio De Esf. Rotura					209.96					99.98

N°	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CARGA	Ø	AREA	ESF. ROTURA	F'C	FECHA	FECHA	EDAD	%
		Kg	cm	cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	VACIADO	ROTURA	DIAS	
1	B - 1	41598	15.01	176.95	235.08	210	01/04/2025	29/04/2025	28	111.94
2	B - 2	42157	14.98	176.24	239.20	210	01/04/2025	29/04/2025	28	113.91
3	B - 3	42732	15.01	176.95	241.49	210	01/04/2025	29/04/2025	28	115.00
4	B - 4	42915	15.01	176.95	242.53	210	01/04/2025	29/04/2025	28	115.49
5	B - 5	42253	15.01	176.95	238.78	210	01/04/2025	29/04/2025	28	113.71
Promedio De Esf. Rotura					239.42					114.01

OBSERVACIONES:

1.- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADOS POR EL BACHILLER



 Dr. Ricardo Yana Torres
 I. C. R. 100257



UNIVERSIDAD NACIONAL "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
 FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXION

NTP 339.034

TEMA : EFECTO DEL REEMPLAZO DE PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025

SOLICITANTE : BACHILLER PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA
LUGAR : LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA
FECHA : 01 - ABRIL - 2025

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON 8% DE PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura - dial	Resistencia a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V - 1	15.0	15.0	50.0	1142.75	16.986	17.26	01/04/2025	08/04/2025	7
2	V - 2	15.0	15.0	50.0	1136.69	16.840		01/04/2025	08/04/2025	7
3	V - 3	15.0	15.0	50.0	1175.25	17.411		01/04/2025	08/04/2025	7
4	V - 4	15.0	15.0	50.0	1165.78	17.271		01/04/2025	08/04/2025	7
5	V - 5	15.0	15.0	50.0	1199.45	17.770		01/04/2025	08/04/2025	7
						17.256				

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura - dial	Resistencia a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V - 1	15.0	15.0	50.0	1359.42	20.356	20.52	01/04/2025	15/04/2025	14
2	V - 2	15.0	15.0	50.0	1375.36	20.378		01/04/2025	15/04/2025	14
3	V - 3	15.0	15.0	50.0	1388.74	20.278		01/04/2025	15/04/2025	14
4	V - 4	15.0	15.0	50.0	1365.53	20.230		01/04/2025	15/04/2025	14
5	V - 5	15.0	15.0	50.0	1443.05	21.379		01/04/2025	15/04/2025	14
						20.523				

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura - dial	Resistencia a Flexion (Mr) Kg/cm2	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm2)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V - 1	15.0	15.0	50.0	1941.42	28.658	28.85	01/04/2025	29/04/2025	28
2	V - 2	15.0	15.0	50.0	1936.63	28.691		01/04/2025	29/04/2025	28
3	V - 3	15.0	15.0	50.0	1942.46	28.777		01/04/2025	29/04/2025	28
4	V - 4	15.0	15.0	50.0	1936.36	28.687		01/04/2025	29/04/2025	28
5	V - 5	15.0	15.0	50.0	1974.75	29.256		01/04/2025	29/04/2025	28
						28.854				

OBSERVACIONES:
 -1- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADAS POR EL BACHILLER

Mgtr. Arnaldo Lora Torres
 CIP. 103257





UNIVERSIDAD ANDINA "NESTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTOS



PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXION

NTP 339.034

TEMA: EFECTO DEL REEMPLAZO DE PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025
SOLICITANTE: BACHILLER PAUL HUMBERTO CALSINA MOLLOHUANCA
LUGAR: LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO UANCV-JULIACA
FECHA: 01- ABRIL - 2025

PRUEBA DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN CON 24% DE PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura - dial	Resisten. a Flexion (Mr) Kg/cm ²	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm ²)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1285.36	19.255	19.54	01/04/2025	08/04/2025	7
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1276.17	18.906		01/04/2025	08/04/2025	7
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1376.28	20.389		01/04/2025	08/04/2025	7
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1275.39	18.895		01/04/2025	08/04/2025	7
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1365.74	20.233		01/04/2025	08/04/2025	7
						19.538				

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura - dial	Resisten. a Flexion (Mr) Kg/cm ²	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm ²)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	1506.39	22.392	22.33	01/04/2025	15/04/2025	14
2	V-2	15.0	15.0	50.0	1505.72	22.307		01/04/2025	15/04/2025	14
3	V-3	15.0	15.0	50.0	1504.37	22.287		01/04/2025	15/04/2025	14
4	V-4	15.0	15.0	50.0	1506.42	22.317		01/04/2025	15/04/2025	14
5	V-5	15.0	15.0	50.0	1509.39	22.361		01/04/2025	15/04/2025	14
						22.333				

N°	DESCRIPCIÓN DEL MUESTRO	PROMEDIO			Lectura -dial	Resisten. a Flexion (Mr) Kg/cm ²	Promedio Resistencia a Flexion (Mr) (Kg/cm ²)	FECHA	FECHA	EDAD
		b (cm)	h (cm)	L (cm)				VACIADO	ROTURA	DIAS
1	V-1	15.0	15.0	50.0	2090.43	31.073	30.30	01/04/2025	29/04/2025	28
2	V-2	15.0	15.0	50.0	2038.39	30.198		01/04/2025	29/04/2025	28
3	V-3	15.0	15.0	50.0	2026.42	30.021		01/04/2025	29/04/2025	28
4	V-4	15.0	15.0	50.0	2031.96	30.103		01/04/2025	29/04/2025	28
5	V-5	15.0	15.0	50.0	2032.42	30.110		01/04/2025	29/04/2025	28
						30.301				

OBSERVACIONES:
1.- LAS MUESTRAS DE CONCRETO FUERON MOLDEADOS POR EL BACHILLER


 Ing. Baldo Luna Torres
 CIP: 100257



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital [X]

Fecha de entrega: 21-10-2025

1. Datos del autor (es):

Formulario with fields for author information: Nombres y Apellidos, Dirección, DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°, Teléfono, email, Facultad y/o Escuela de Posgrado, Escuela Profesional o Mención, Título o Grado Académico a optar, Asesor, Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones, Trabajo de Investigación [], Tesis [X], Trabajo de Suficiencia Profesional [], Trabajo Académico [], Título: EFECTO DEL REEMPLAZO PARCIAL DE CEMENTO POR PUZOLANA DE ORIGEN VOLCÁNICO SOBRE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO CONVENCIONAL PRODUCIDOS EN LA PROVINCIA DE SAN ROMÁN 2025, Palabras claves, ¿Esta obra se desarrolló en la UANCV 1,2?, 1, 2



2. Referencia de tesis:

- Bachiller Título 2da Especialidad Maestría Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral. Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE MATERIALES - P17

Firma de Autor



huella digital

21-10-2025

Fecha